# AEROBE UND ANAEROBE ATMUNG BEI KEIMLINGEN VON PISUM SATIVUM

von

D. S. FERNANDES.

## ERSTER ABSCHNITT.

### Einleitung und Fragestellung.

Schon Adolf Mayer[1]) hat darauf hingewiesen, dass es bei jedem Atmungsversuch sehr erwünscht ist, die beiden Phasen des Atmungsgaswechsels gleichzeitig zu bestimmen. Er äussert sich hierüber folgendermassen:

„Trotzdem besitzt natürlich die Frage grosses Interesse, ob Kohlensäureausscheidung und Sauerstoffaufnahme unter den verschiedensten äusseren Verhältnissen mit einander parallel gehen, d. h. speziell auf den uns gerade beschäftigenden Fall angewendet, ob nicht durch gewisse Temperaturen der Gasaustausch in einem Sinne, durch gewisse andere in einem anderen Sinne abgeändert werde.

Es ist ja ganz auf der Hand liegend, dass, falls eine Abhängigkeit in dieser Richtung tatsächlich bestehen sollte, hierdurch ein deutliches Licht auf die chemische Natur derjenigen Stoffklassen geworfen werden würde, welche unter diesen oder jenen Verhältnissen überwiegend dem Oxydationsprozesse anheim fielen."

Auch Detmer[2]) betont die grosse Bedeutung einer

---

1) Mayer. Adolf. Die Abhängigkeit der Pflanzenatmung von der Temperatur. Landw. Versuchst. Bd. 19, 1876. S. 346.

2) Detmer. W. Vergleichende Physiologie des Keimungsprozesses der Samen. Gustav Fischer. Jena, 1880. S. 269.

gleichzeitigen Bestimmung der $CO_2$-Ausscheidung und $O_2$-Aufnahme bei der Atmung und macht dabei folgende Betrachtung:

„Selbstverständlich würde es grosses Interesse besitzen, die Beziehungen zwischen Temperatur und der Intensität der Kohlensäureproduktion seitens der Keimpflanzen genauer festzustellen, und zumal dürfte es wichtig sein, derartige Untersuchungen mit Beobachtungen über die Energie der Sauerstoffabsorption zu verbinden. Würde man z. B. für bestimmte Keimpflanzen eine directe Proportionalität zwischen der Sauerstoffaufnahme und verschiedenen Temperaturen ermitteln, aber feststellen können, dass die Kohlensäureabgabe bei höherer Temperatur relativ bedeutender als bei niederer wäre, so hätte man damit das Auftreten innerer Atmung bei höherer Temperatur für die in Untersuchung genommenen Keimpflanzen constatiert etc."

Im Jahre 1910 veröffentlichte Kuyper [1]) eine eingehende Untersuchung über den Einfluss der Temperatur auf die Atmung der höheren Pflanzen, wobei nur die $CO_2$-Ausscheidung gemessen wurde.

Die Ergebnisse, welche besonders Versuche mit Keimlingen von *Pisum sativum* ergaben, waren folgende:

Bei 15° und auch bei 20° C. zeigte sich in den aufeinanderfolgenden Stunden eine Zunahme der ausgeschiedenen $CO_2$-Mengen, welche bei 25° und 30° C. nicht mehr festgestellt werden konnte. Hier zeigte die Atmung einen schwankenden Verlauf. Bei höheren Temperaturen trat dagegen ein deutlicher Rückgang im Atmungsverlauf ein.

Da bei 25° und auch bei 30° C. die Keimlinge ein starkes Wachstum zeigten, meinte Kuyper daraus folgern zu können, dass schon bei 25° C. zwei Tendenzen wirksam sind, die bis 30° C. einander noch die Wage halten können,

1) Kuyper. J. Über den Einfluss der Temperatur auf die Atmung der höheren Pflanzen. Recueil des trav. bot. néerl. Vol. VII, 1910. S. 131.

und dass diese Bedingungen seien: „starkes Wachstum und Beschädigung durch höhere Temperatur" Die erhaltenen Kurven des Atmungsverlaufs bei Temperaturen von 30°—40° C. wurden nun von ihm folgenderweise erklärt:

„Meiner Ansicht nach haben wir es zu tun mit zwei über einander greifenden Prozessen, welche zusammen die $CO_2$-Abgabe bei normaler Atmung verursachen. Einer wird von der höheren Temperatur beeinträchtigt und zwar sofort sehr stark, der andere jedoch nimmt ziemlich gleichmässig zu während der Einwirkung der höheren Temperatur." Die Kurve für 32,6° „zeigt noch dasselbe Bild, welches man bei 30° beobachtet, aber mit viel stärkeren Schwankungen, und die erste Stunde hat einen bedeutenden Rückgang zur Folge. Bei 34° ist der anfängliche Rückgang noch bedeutender, allein nach der ersten Stunde tritt ein heftiger Kampf zwischen Steigung und Fall ein. Bei 35° dauert der Fall schon in der Regel zwei Stunden, bisweilen dauert er fort, bisweilen hält die Neigung in die entgegengesetzte Richtung ihm die Wage. Bei 37,4° nimmt die ungünstige Wirkung der Temperatur zu, und ist schon ungefähr während 3 Stunden überwiegend; darauf tritt eine Periode auf, während welcher die beiden Tendenzen einander gewachsen sind.

Dieser Moment trifft noch später ein bei 39°, bei welcher Temperatur die Kurve fast logarithmisch verläuft. Bei 40° zeigt sich wie aus allen bis jetzt besprochenen Versuchen hervorgeht, der regelmässige logarithmische Rückgang. Ich habe jedoch diese Versuche noch länger fortgesetzt und daraus ersehen, dass nach 7 Stunden eine Steigung wahrnehmbar war, welche bis an das Ende der 9ten Stunde anhielt. Bei 43° dauerte der Rückgang während 10 Stunden regelmässig fort. Es ist ausserdem nötig in meine Hypothese aufzunehmen, dass die Steigung des zweiten Prozesses, welche eine Funktion der Zeit ist, von der Temperatur beein-

flusst wird und zwar bei höherer Temperatur geringer wird."

Einige Zeilen weiter gibt Kuyper auch eine andere Erklärungsmöglichkeit an, welche ich hier noch zitieren möchte:

„In Bezug auf meine Ausführungen über die Atmung bei 30°—43°, wo ich zwei einander entgegengesetzte Prozesse annahm, oder wenigstens zwei Prozesse, welche einzeln beeinflusst werden, weise ich auf Ausführungen von Palladin [1]) hin. Palladin setzt zwei Prozesse voraus; einer wirkt besonders bei intramolecularer Atmung, während er das Enzym welches hierin hauptsächlich wirkt, *Carbonase* nennt: der zweite, den er auf *Oxydasen* [2]) zurückführt, verbraucht besonders die bei dem ersteren gebildeten Zwischenprodukte. Der eine Prozess konnte nun z. B. viel stärker von der Temperatur beeinflusst werden als der andere, wodurch ein Rückgang bis auf einen bestimmten Punkt erklärt werden kann; die Sache wird noch komplizierter, indem Palladin voraussetzt, dass die beiden Enzyme einander beeinflussen". „Vielleicht ist auch etwas Ähnliches hier möglich. Die Steigerung, welche nach dem ersten Rückgang bei den Temperaturen von 35°—40° eintritt, würde also darauf zurückzuführen sein, dass ein Enzym nicht länger oder weniger von dem andern beeinflusst würde, dadurch dass z. B. das beschädigende Enzym eben am stärksten von der Temperatur beeinflusst wird."

Aus obigen Betrachtungen und Hypothesen geht ohne weiteres folgende Fragestellung hervor:

1. Wie werden $O_2$-Aufnahme und $CO_2$-Abgabe bei der Atmung keimender Samen von der Temperatur beeinflusst.

2. Welchen Einfluss hat bei keimenden Samen die Temperatur auf die $CO_2$-Produktion im

---

1) Palladin. W. Zeitschr. f. physiol. Chemie. Bd. 47, 1906. S. 407.
„ „ Bioch. Zeitschr. Bd. 18, 1909. S. 151.

sauerstofffreien Medium (also auf die s. g. intramoleculare Atmung.)

3. Inwiefern treffen die Kuyperschen Hypothesen zu.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Versuche besprochen, welche den Zweck hatten, eine Antwort auf diese Fragen zu geben.

## ZWEITER ABSCHNITT.

### Apparate.

---

#### A. Normale Atmung.

1. Allgemeines.

Zur gleichzeitigen Bestimmung der ausgeschiedenen Kohlensäure und des absorbierten Sauerstoffs bei der Pflanzenatmung sind nur wenige Apparate beschrieben worden.

Eine volumetrische Bestimmung des aufgenommenen $O_2$ gestattet der Apparat von Wolkoff und Mayer [1], doch ist der einfachere Apparat von Godlewski [2]) besser dazu geeignet und ermöglicht derselbe zugleich Bestimmungen der produzierten $CO_2$ Menge.

Genauere Resultate sollten die gasometrischen Methoden geben, welche von Bonnier und Mangin [3]) und Polowzow-Richter [4]) ausgearbeitet wurden.

Keiner von diesen Apparaten eignet sich aber bequem für längere Versuche mit einer grossen Zahl von Objekten.

Im Apparat von Godlewski werden die Keimlinge nämlich in einen verschlossenen Raum eingesperrt und

---

1) Wolkoff. A. und Mayer. A. Beiträge zur Lehre über die Atmung der Pflanzen. Landw. Jahrb. Bd. 3, 1874. S. 481.

2) Godlewski. E. Beiträge zur Kenntnis der Pflanzenatmung. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 13, 1882. S. 491.

3) Bonnier G. und Mangin L. Recherches sur la respiration etc. Ann. d. Sc. nat. Bot. 4e sér. T. 17, 1884. S. 210.

4) Polowzow-Richter. In Abderhaldens Handb. der biol. Arbeitsm. Bd. 3, 1910. S. 490.

es ist während eines Versuchs nicht möglich, die Luft im Apparat zu erneuern. Demzufolge muss innerhalb weniger Stunden Sauerstoffmangel im Apparat eintreten.

Bonnier und Mangin bestimmten den Atmungsgaswechsel, indem sie nach jedem Versuch dem Apparat eine Gasprobe entnahmen, welche danach analysiert wurde. Im Atmungsgefäss bekommt man dadurch nicht nur eine Verminderung des $O_2$-Gehaltes, sondern auch eine $CO_2$-Anhäufung. Es wurde darum für unsern Zweck ein neuer Apparat konstruiert unter Benutzung eines Prinzips, das

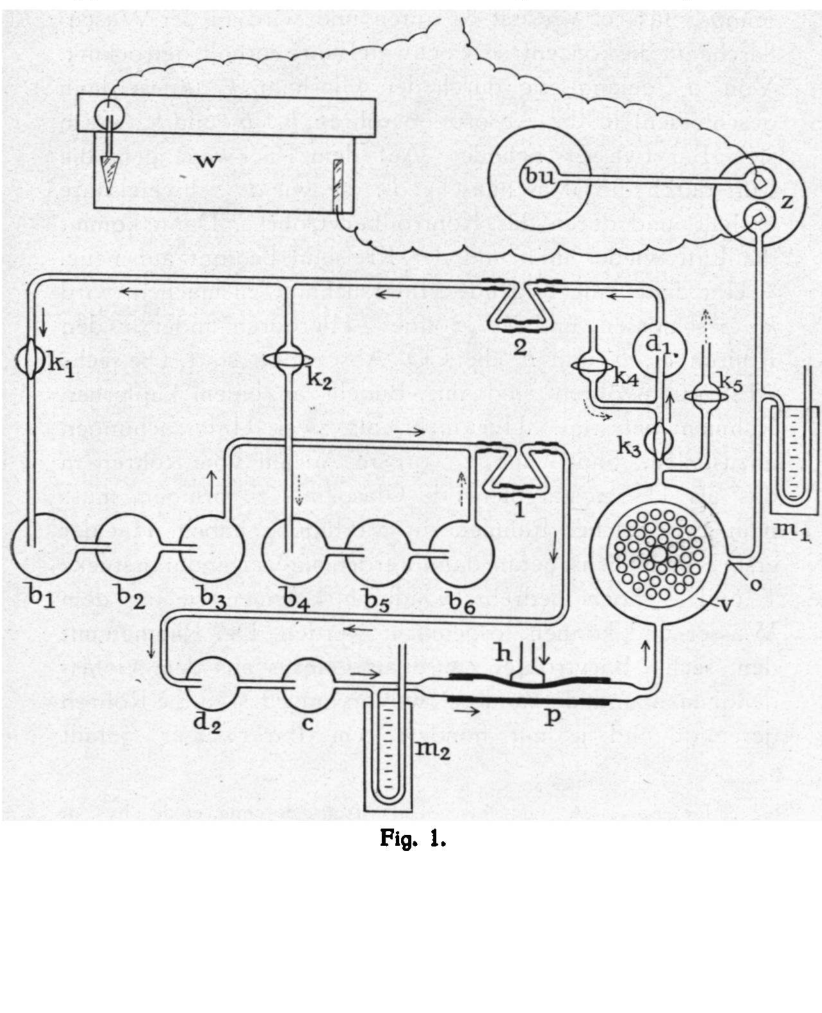



Fig. 1.

schon im Jahre 1849 von Regnault und Reiset[1]) in die Atmungsphysiologie eingeführt wurde und später von mehreren Tierphysiologen in verschiedener Weise modifiziert worden ist.

Zunächst soll, ehe auf Einzelheiten eingegangen wird, an der Hand eines einfachen Schemas (Fig. 1) kurz angegeben werden, wie der Apparat wirkt und worauf dabei zu achten ist.

Eine Saugdruckpumpe *p* aus Gummi leitet die Luft in die Richtung der Pfeile. Die Luft tritt von oben in das Atmungsgefäss *v*, verlässt es unten und wird in der Waschflasche $d_1$, die konzentrierte Schwefelsäure enthält, getrocknet. Von $d_1$ gelangt sie durch den Glashahn $k_1$ ($k_2$ ist dann geschlossen) in die Absorptionsröhren $b_1$, $b_2$ und $b_3$, worin sich Barytwasser befindet. Auf dem Rückwege geht die Luft durch die Waschflasche $d_2$, die wie $d_1$, Schwefelsäure enthält und durch das Kontrollbarytrohr *c*. Dann kommt die Luft wieder in *p* und der Kreislauf beginnt aufs neue.

Um dann eine folgende Untersuchung zu machen, wird $k_1$ geschlossen und $k_2$ geöffnet. Hierdurch findet in den Röhren $b_4$, $b_5$ und $b_6$ die $CO_2$-Absorption statt. Die sechs Absorptionsröhren sind mit Bügeln an einem kupfernen Rahmen befestigt. Um mehr als zwei Untersuchungen anzustellen, ohne eine zu grosse Anzahl von Röhren in das als Thermostat dienende Glasgefäss zu bringen, muss man zwei solcher Rahmen zur Verfügung haben. Hat der erste seinen Dienst getan, dann werden die Verbindungsstücke 1 und 2 hoch gedreht. Dadurch kommen sie aus dem Wasser und können losgemacht werden. Der Rahmen mit den sechs Barytröhren wird als Ganzes aus dem Gefäss genommen und der andere (wovon unterdessen die Röhren gereinigt und je mit hundert ccm Barytwasser gefüllt

---

[1]) Regnault A. und Reiset. J. Ann. de chim. et de phys. 3e sér. T. 26, 1849.

worden sind) eingesetzt. Das Auswechseln nimmt nicht eine ganze Minute in Anspruch. Aber ehe weitere Wahrnehmungen mit den neu hereingesetzten Barytröhren gemacht werden können, muss (je nach der Temperatur im Thermostaten) erst 10—15 Minuten gewartet werden, damit die Röhren samt ihres Inhaltes die Temperatur des Thermostaten annehmen. Der Apparat arbeitet in dieser Zeit ventilierend und zwar folgender Weise: Hahn $k_3$ wird geschlossen, während $k_4$ und $k_5$ geöffnet werden. Beginnt dann die Pumpe zu arbeiten, so kann die Luft, die aus dem Atmungsgefäss kommt, nicht anders als durch $k_5$ nach aussen entweichen, während bei $k_4$ Luft eingesogen wird. Diese ist dadurch vorher $CO_2$-frei gemacht, dass sie durch Waschflaschen, die starke KOH-Lösung enthalten (in der Fig. 1 nicht gezeichnet) geleitet worden ist. Die Möglichkeit, um den Apparat auch ventilierend wirken zu lassen, bietet noch einen anderen Vorteil.

Wenn nämlich bei Untersuchungen von längerer Dauer abends die Wahrnehmungen eingestellt werden, kann der Apparat die ganze Nacht ventilierend arbeiten. Die Objekte unterliegen so keiner Temperaturschwankung und am anderen Morgen kann dadurch sofort weiter untersucht werden, das man $k_3$ öffnet und $k_4$ und $k_5$ schliesst. Das gibt ein grosses Zeitersparnis bei Untersuchungen, die 10—12 Stunden währen, indem man mit den Pflanzen, die abends in den Apparat gebracht worden sind, am folgenden Morgen sofort die Untersuchung beginnen kann.

Nach der nächtlichen Ventilation ist alle $CO_2$ aus dem Apparat vertrieben, was durch Leerversuche festzustellen ist.

Wenn der Apparat von der Aussenluft abgeschlossen ist, und die Pumpe zu arbeiten beginnt, so entsteht sofort ein Überdruck im Atmungsgefäss, während Manometer $m_2$ eine Druckverminderung angibt. Öffnet man jetzt $k_5$ so wird die in dem Gefäss gepresste Luft ausgestossen. Wird nun der Hahn $k_5$ langsam geschlossen, so bleibt der

Druck in dem Gefäss weiter gleich 1. Im Manometer $m_1$ steht nun die Flüssigkeit in beiden Schenkeln eben hoch, dagegen gibt $m_2$ einen grösseren negativen Druck als vorhin an.

Das gestörte Gleichgewicht, das durch die Wirkung der Saugdruckpumpe im geschlossenen System entsteht, wird scheinbar durch das Öffnen und Wiederschliessen von $k_5$ derart verschoben, dass im Atmungsgefäss (und somit auf die Keimlinge) kein Überdruck entstehen kann. Es ist daher notwendig, dass beim Anfang jedes neuen Versuchs, $k_5$ geöffnet ist, bis in allen Barytröhren Blasen gebildet werden. Unterlässt man dies, so wird die Flüssigkeit in $m_1$ sogleich ausgetrieben, wenn die Pumpe zu wirken beginnt.

Sobald durch die Atmung $O_2$ im geschlossenen System verschwindet, wird $m_1$ dies sogleich anzeigen. Wird jedoch soviel $O_2$ hinzugefügt wie verschwindet, so wird $m_1$ auf dem Nullpunkt bleiben und im Gefäss herrscht der Druck der Aussenluft.

Bei *O* tritt der Sauerstoff in das Atmungsgefäss. Dieser wird in *Z* elektrolytisch gewonnen. Mit Hilfe des Widerstandes *w* ist die $O_2$-Entwicklung von einem Minimum bis zu einem bestimmten Maximum zu regeln. Die Intensität des elektrolytischen Prozesses muss immer so sein, dass die $O_2$-Erzeugung gleichen Schritt hält mit dem $O_2$-Verbrauch.

Dieses Gleichgewicht ist bald gefunden, indem man den Widerstand vergrössert oder verkleinert. Das Manometer $m_1$ zeigt dann weiter an, ob dieser Zustand auch erhalten bleibt. Es kann vorkommen (z.B. beim Steigen oder Fallen der Atmungsintensität), dass einen Augenblick den Keimlingen etwas zu wenig oder zu viel $O_2$ geliefert wird. Der Stand des Manometers $m_1$, das schon einen Unterschied von 0.1 ccm. deutlich anzeigt, ist dann sofort mittels des Widerstandes zu regulieren, sodass Unregelmässigkeiten, die mehr als 0.1 ccm. betragen, nicht vorzukommen brauchen.

Der bei der Electrolyse in Z gleichzeitig gebildete Wasserstoff wird in der Bürette *bu* aufgefangen. Nach angebrachter Korrektur (auf Barometerstand, Temperatur, Wasserdampfspannung und Druck der Wassersäule in der Bürette) gibt die aufgefangene Menge Wasserstoff, durch zwei dividiert, die Menge $O_2$ an, die während der Untersuchung in den Apparat gebracht worden ist. Wegen der geringen Löslichkeit des Wasserstoffes in Wasser darf eine diesbezügliche Korrektion unterlassen werden.

Das Manometer $m_1$ dient noch einigen andern Zwecken. Wenn als Flüssigkeit eine Jodkaliumstärkelösung gebraucht wird, ist $m_1$ ein empfindliches Kontrollmittel beim Entstehen von Spuren Ozon. Bei Anwesenheit dieses Gases entwickeln sich z. B. Keimlinge von *Pisum sativum* nicht normal, was Ozon im Atmungsgefäss als unerwünscht erscheinen lässt. Schliesslich hat man im Manometer $m_1$ ein geeignetes Mittel, um zu prüfen, ob die gewünschte Temperatur sowohl vom Apparat, als auch von den Objekten vollkommen angenommen wurde. Beginnt man die Beobachtung ehe das Ganze auf die geforderte Temperatur gebracht worden ist, so wird in $m_1$ im offenen Schenkel die Flüssigkeit sofort steigen, d. h. dass noch Ausdehnung statt hat, während durch die $O_2$-Aufnahme gleich Volumverminderung auftreten müsste. Zur Bestimmung der Vorwärmezeit ist $m_1$ also von praktischer Bedeutung.

Der aus dem Gefäss mitgeführte Wasserdampf wird in $d_1$ gebunden, sodass in die Barytröhren trockne Luft gelangt.

Der aus der Lauge mitgenommene Wasserdampf wird in $d_2$ absorbiert. Dadurch, dass man die Volumvermehrung in $d_2$ misst, kann man die Wassermenge finden, die aus der Lauge verschwindet und ist eine Korrektion des festgestellten Titers anzubringen. Die Verdampfung aus den Barytröhren ist sehr gering und betrug bei dreitägiger Untersuchung ca 2ccm. Deswegen kann man diese Korrektur unterlassen.

Das Manometer $m_2$ ist mit Hg gefüllt und dient zur Angabe des Druckes, den die Pumpe zu überwinden hat, um die Luft durch die verschiedenen Flüssigkeiten zu pressen.

Auf das Quecksilber im geschlossenen Schenkel bringt man einen Tropfen Paraffinöl. Hierdurch können dort keine schädlichen Quecksilberdämpfe entstehen.

Auf die Gummipumpe *p* schlägt ein flacher Hammer *h*, der durch einen Elektromotor (in Fig. 1 nicht gezeichnet) in vertikaler Richtung geht. Dieser Hammer kann höher oder tiefer gestellt werden, wodurch der Pumpenschlag und als Folge davon die Grösse der Blasen zu regeln ist. Die Geschwindigkeit des Motors wird mittels Vergrösserung oder Verkleinerung eines Widerstandes bestimmt. Hierdurch regelt sich die Zahl der Gasblasen. Grösse und Anzahl der Blasen sind natürlich von Bedeutung für eine gute $CO_2$-Absorption.

Damit die eindringende Luft im Gefäss gleichmässig verteilt wird, werden die Ebonitplatten, worauf die Keimlinge liegen, durch eine Achse in langsam drehende Bewegung versetzt. Hiermit wird eine Anhäufung von $CO_2$ im Gefäss (darüber später) ausgeschlossen.

Durch das Ein-und Aussaugen der Luft im Gefäss macht die Flüssigkeit in $m_1$ eine auf- und niedergehende Bewegung. Diese ist nicht zu umgehen. Bei einem kurzen und kleinen Pumpenschlag ist diese Bewegung so gering, dass sie nicht hinderlich wirkt. Ferner kann man immer den Motor anhalten, um sich davon zu überzeugen, ob das Manometer tatsächlich auf dem Nullpunkte steht.

Der ganze Apparat ist im Innern eines kupfernen Rahmens befestigt. Dieser passt genau in einen Glastrog, (Inhalt ca. 45 l.), der als Wasserthermostat dient. Durch elektrische Heizung ist es möglich, die Temperatur des Wassers bis auf 0.03° C. konstant zu halten. Die Temperaturschwankungen im Apparat selbst sind noch geringer als die im Thermostaten. Daher können diesbezügliche Korrekturen ausser acht bleiben.

Ist der Apparat unter Wasser, so kann bequem untersucht werden, ob das Ganze vollkommen luftdicht ist. Zu diesem Zwecke pumpt man durch $k_4$ Luft in den Apparat und sieht zu, ob irgendwo Blasen aufsteigen. Wenn die Verbindungen mit Vacuumschlauch gemacht sind und die Glasröhren mit ihren Enden zusammenstossen, kommen Undichtigkeiten nicht vor.

## 2. Beschreibung der Unterteile.

### a. *Die Saugdruckpumpe. (Fig. 2).*

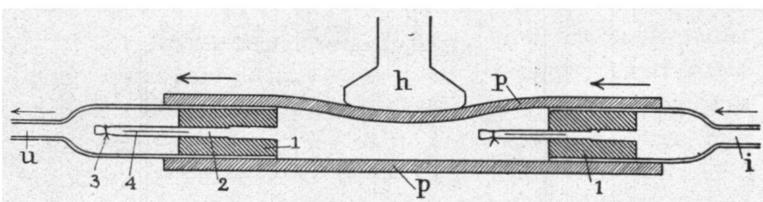



Fig. 2.

Eine luftdichte Pumpe, die lange Zeit ununterbrochen arbeitet und eine hinreichende Kapazität besitzt, ist einfach ineinanderzusetzen.

Die Glasröhren *i* und *u* sind miteinander durch einen kräftigen Kautschukschlauch *p* verbunden (ca. 15 cm. lang und 2,5 cm. Durchmesser). Jede der Röhren *i* und *u* ist mit einem Ventil versehen. Dieses besteht aus einem Stückchen Gummischlauch *1* (1 cm. lang). Darin befindet sich das eine Ende eines Ventilschlauches *2* (ca. 3 cm. lang), mit Solution aus Gummi gekittet. Das andere Ende des Ventilschlauches ist bei *3* mit einem Faden gut verschlossen, während in den Ventilschlauch ein gerader Längsschnitt *4* gemacht ist, dessen Schnittflächen (wenn nicht gepumpt wird) gegeneinanderliegend schliessen.

Um einem späteren Aneinanderkleben zuvorzukommen, werden die Schnittflächen mit Talk bestrichen. Die Glasröhren *i* und *u* sind in dem Kautschukschlauch *p* eingeklemmt.

Auch die Vacuumschläuche *1* müssen luftdicht schliessen. Wie die Pumpe wirkt, wenn der Hammer h daraufschlägt, ergibt sich sofort aus der Figur.

*b. Das Atmungsgefäss. (Fig. 3).*

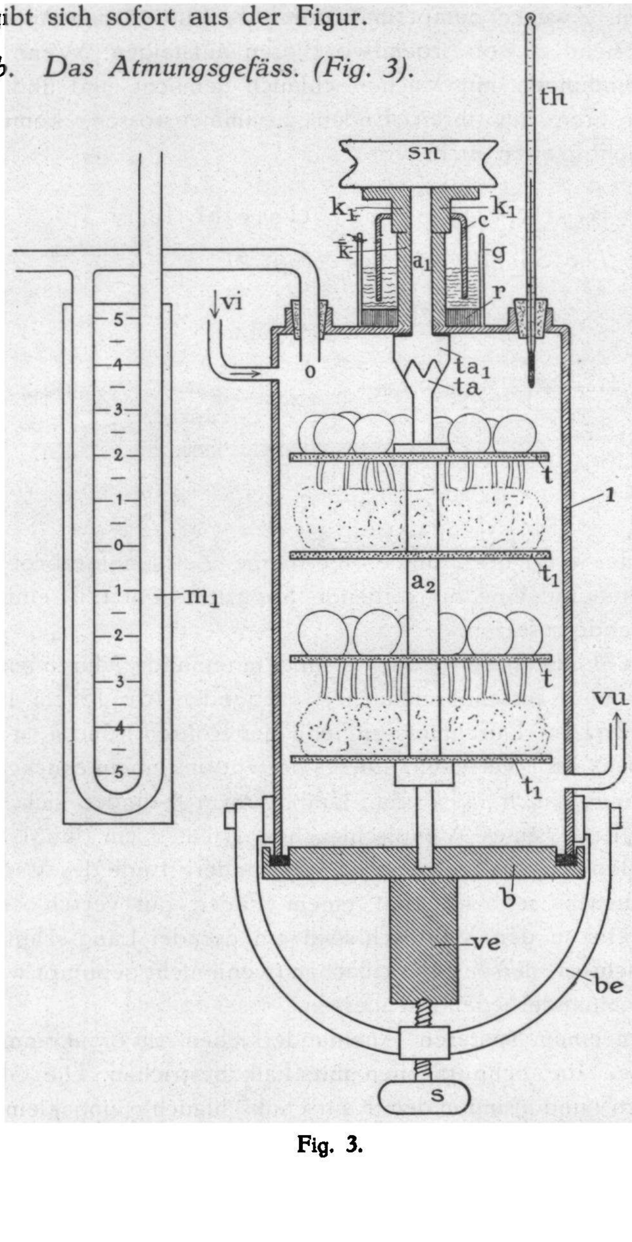



Fig. 3.

Genau so wie in den Kuyperschen Untersuchungen wird auch hier von einem zylinderförmigen kupfernen Gefäss Gebrauch gemacht. Die zu untersuchenden Keimlinge liegen auf den Ebonitplatten *t*, die an der Achse $a_2$, befestigt sind. In jeder Platte *t* sind Löcher so angebracht, dass die Pisum sativum-Samen nicht durchfallen können. Auf die Platten $t_1$ wird feuchte Watte gelegt, worauf die Würzelchen ruhen. Dadurch kann kein Wassermangel eintreten. Die Achse $a_2$ läuft nach oben kegelförmig auseinander und ist an ihrem Ende mit 4 Zähnen *ta* versehen. Diese passen genau zwischen 4 Zähnen $ta_1$, welche sich am untern Ende einer gleich starken Achse $a_1$ befinden. Die Stahlachse $a_1$ geht durch eine Kupferbüchse *k* (an den Deckel gelötet), worin sie passend schliesst und doch leicht drehbar ist. Um *k* sitzt ein Glaszylinder *g*. Dieser ist unten durch einen Gummiring *r* geschlossen. Wo die Achse $a_1$ oben endigt, ist sie in eine kupferne Röhre $k_1$ eingeklemmt. Daran ist nach unten ein hohler Metallzylinder *c* befestigt und oben die Rolle *sn*. Durch das Öl in *g* ist die Achse luftdicht abgeschlossen und ist eine Undichtigkeit nicht möglich, da im Gefäss niemals grosse Druckunterschiede entstehen. In der Mitte des abnehmbaren Bodens *b* befindet sich eine Höhlung, worin die Achse frei dreht. Wird nun durch einen Motor die Rolle *sn* langsam in Bewegung gesetzt, so wird $a_1$, mittels der Zähne $ta_1$ und *ta* diese Bewegung auf $a_2$ übertragen. Hierdurch wird erreicht, dass die zirkulierende Luft sich gleichmässig im ganzen Atmungsgefäss verteilt und dass die Keimlinge andauernd frische Luft erhalten. Die Notwendigkeit, ein zylinderförmiges Atmungsgefäss (15 cM. Durchmesser, 20 cM. hoch) zu ventilieren, ergab sich deutlich durch eine der vielen Kontrollreihen.

Bei einer konstanten Temperatur von 20° C. war durch die $O_2$-Aufnahme in 50 Minuten ein Manometerstand von 4 cM. entstanden. In den darauffolgenden 10 Minuten

wurde schneller zirkuliert, mit dem Ergebnis, dass das Manometer in dieser Zeit noch eben soviel stieg wie in den vorhergehenden 50 Minuten.

Dafür konnte keine andere Erklärung gefunden werden als die Annahme, dass im Gefäss $CO_2$-Anhäufung stattfand. Diese konnte dadurch entstehen, dass die bei *vi* eintretende Luft sich auf dem kürzesten und einfachsten Wege nach dem Ausgangspunkt *vu* begab und hierbei nur einen Teil von der gebildeten $CO_2$ mitnahm. Verschwindet jetzt durch schnellere Zirkulation ein Teil der angehäuften $CO_2$, so war eine plötzliche grössere Steigung des Manometers hierdurch zu erklären. Sobald durch eine langsam drehende Bewegung der atmenden Objekte jede $CO_2$ Anhäufung im Gefäss ausgeschlossen wurde, war auch in der Tat keine anormale Manometersteigung mehr festzustellen.

Es braucht nicht näher betont zu werden, dass nicht nur wegen der Zuführung und Messung des Sauerstoffes, sondern auch aus anderen Gründen, die bei der Atmung entstandene $CO_2$ sofort weggeführt werden muss. Bei einer $CO_2$-Anhäufung im Gefäss ist natürlich eine volumetrische Bestimmung der verschwundenen $O_2$-Menge nicht mehr möglich. Zudem gerät dann ein Teil der Pflanzen in eine $CO_2$-reiche Atmosphäre und durch das Fehlen von $O_2$ wird bald anaerobe Atmung auftreten.

Es scheint mir, dass bei den Atmungsapparaten nach dem Pfefferschen und Detmerschen Schema (also auch bei dem von Kuyper gebrauchten), wenig oder gar nicht der Fehler beachtet ist, der begangen wird, wenn in einem solchen Gefäss nicht für eine vollkommene Durchlüftung gesorgt wird.

Der abnehmbare Boden *b* ist mit einem eingeschittenen Rande versehen, worin ein Gummiring liegt. Der drehbare Bügel *be* hat in der Mitte eine Schraube *s*, die, hochgedreht, gegen *ve* drückt und so den Unterrand des Ge-

fässes schliessend, in den mit Gummiring versehenen Einschnitt gepresst wird.

Im Deckel des Gefässes ist ausser einer Öffnung *o* für die Sauerstoffzuleitung auch ein durchbohrter Gummipropfen eingelassen, worin das Thermometer *th* steckt.

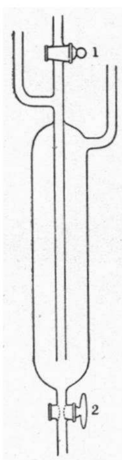


Fig. 4.

*c.* Fig. 4 gibt die Form der Trocken- und Kontrollröhren an. Das Füllen geschieht durch Hahn *1*, das Leeren und Reinigen durch Hahn *2*.

*d.* Die Absorptionsröhren sind an einem kupfernen Rahmen befestigt (Fig. 5). Will man die Temperatur im Thermostaten konstant erhalten, so darf dieser nicht beliebig gross gemacht werden. Deswegen sind gerade Absorptionsröhren (25 cm. lang, 3 cm. Weite) besser zu verwenden als Pettenkofersche oder Winklersche. Wenn man zur $CO_2$-Absorption Barytwasser wählt (21 gr. Barymhydroxyde plus 3 gr. Chlorbarium auf 1 l. Wasser), so ist die Absorption erst vollständig, wenn die Luft durch 3 solcher Röhren (jede 100 ccm. Lauge enthaltend) geht.

Jeder Rahmen mit 6 Röhren ist also nur für zwei Untersuchungen zu gebrauchen.

Die Röhren endigen unten in offenen Röhrchen, die mit Gummistöpseln geschlossen werden können. Oben werden die Röhren mit Gummipropfen, die 3 cm. dick sind, geschlossen. In jedem dieser Propfen sind drei Löcher. Zwei für die Ein- und Auslassröhren, während das dritte zum Füllen dient und mit einem massiven Glasstäbchen gedichtet ist. Die Verbindung der Röhren untereinander ist mittels Vacuumschlauches hergestellt. Weder von einem Diffundieren von $CO_2$ aus dem Wasser des Thermostaten durch die Schlauchverbindungen und Propfen nach dem Innern, noch von einer $O_2$-Aufnahme durch das Gummi hindurch konnte etwas bemerkt werden.

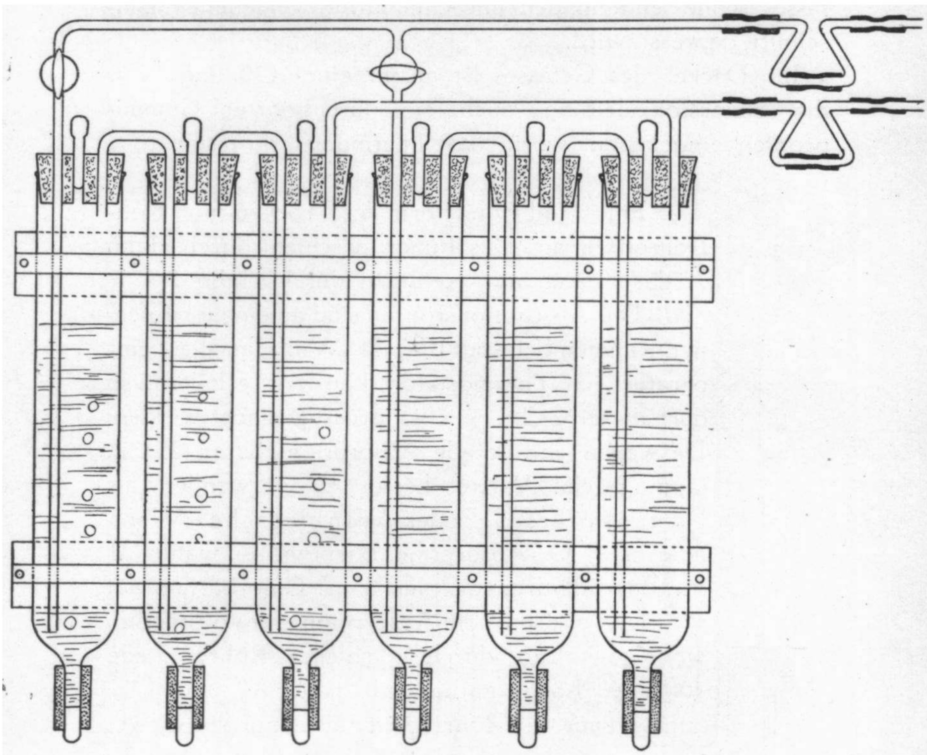


Fig. 5.

Vorversuche, die 24 Stunden dauerten, gaben bei Temperaturen zwischen 20° und 30° C. keine messbare Titerveränderung der Lauge, während das Manometer $m_1$ in dieser Zeit auf dem Nullpunkt blieb.

e. Zuführung des Sauerstoffes und dessen Messung.

Um die Beschwerden der Ozon-Bildung zu beseitigen, ist für die Elektrolyse eine 10 % NaOH-Lösung besser brauchbar als verdünnte Schwefelsäure.

In Fig. 6 ist *C* ein Glaszylinder mit Natronlauge, worin sich die Platinelektroden $p_1$ und $p_2$ befinden.

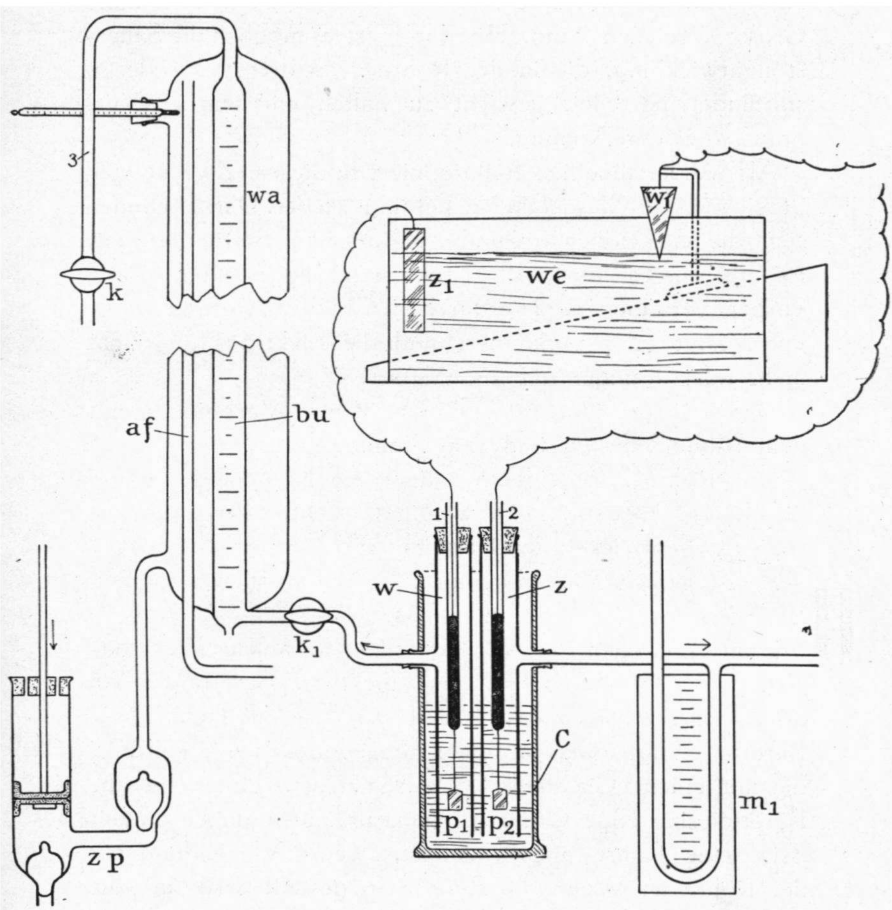



Fig. 6.

Mittels dünner Platindrähte sind diese Elektroden entsprechend in den Glasröhren *1* und *2* durch Einschmelzen festgesetzt. Die Röhren *1* und *2* stecken durch Kautschukpropfen, die gut schliessen in den weiteren Röhren *w* und

$z$ (nach unten offen), welche mit Quecksilber gefüllt sind. Mit Hilfe eines Widerstandes *we* ist die Stromstärke so zu regeln, dass die Intensität der Elektrolyse eine bestimmte Grösse erreichen kann. Hierdurch ist es möglich die Sauerstoffentwicklung, die in der Röhre $z$ an der Elektrode $p_2$ stattfindet im Gleichgewicht zu halten mit dem $O_2$-Verbrauch bei der Atmung.

Als Widerstand *we* funktionniert zu diesem Zwecke ausgezeichnet ein Glasgefäss mit Leitungswasser. Darin befinden sich die Elektroden $w_1$ und $z_1$. An einem Stativ befestigt ist $w_1$. Dieses lässt sich an einem schräggestellten Brette vorbei verschieben. Hierdurch wird der Abstand $w_1$-$z_1$ vergrössert oder verkleinert und die Elektrode $w_1$ reicht mehr oder weniger tief ins Wasser.

Der in $z$ gebildete $O_2$ steht in offener Verbindung mit dem Manometer $m_1$ und dem Atmungsgefäss.

Die Röhre $z$ ist eigentlich auch ein Manometer, worin die Lauge eben so hoch wie in $C$ steht, solange gerade soviel $O_2$ entwickelt wird als im Apparat verschwindet.

$m_1$ ist jedoch notwendig um, wie schon oben mitgeteilt, als Kontrolle für Ozon zu dienen.

Zum Auffangen des Wasserstoffes, der an der Elektrode $p_1$ in der Röhre $w$ frei kommt, dient die Bürette *bu*. An dieser sind Ablesungen bis auf 0.1 ccm möglich. Diese Bürette endigt oben in einer umgebogenen Glassöhre *3*, die mit einem Glasshahn $k$ versehen ist. Unten hat die Bürette eine enge Öffnung, während dicht dabei an der Seite eine Röhre angebracht ist, zwecks Verbindung mit der Röhre $w$. Wenn die Bürette so gestellt wird, dass die untere Öffnung sich eben unter dem Niveau des Thermostatenwassers befindet, ist es nicht möglich, dass beim Auslaufen von Wasser, Luft in die Bürette nach oben dringt.

Das Füllen der Bürette mit Wasser aus dem Thermostaten geschieht dadurch, dass man $k_1$ schliesst und $k$ öffnet. Dabei wird an der Röhre *3* gesogen.

Wird nach der Füllung $k$ geschlossen und ist $k_1$ geöffnet, so kann nur dann Wasser aus der Bürette treten, wenn in $w$ Wasserstoff gebildet wird, welcher in Blasenform in der gefüllten Bürette aufsteigt.

Zur Bildung der ersten Wasserstoffblasen in der Bürette ist ein kleiner Überdruck erforderlich. Dies wird angezeigt durch ein Sinken der Flüssigkeit in der Röhre $w$. Dieser Überdruck, der während des Leerlaufens der Bürette konstant bleibt, muss vor Beobachtungsbeginn vorhanden sein, da sonst die erste Ablesung zu klein sein würde.

Diesen Fehler kann man dadurch umgehen, dass man einige Minuten vor Beginn des Versuches — wenn der Apparat noch ventilierend wirkt — mit der Elektrolyse beginnt, bis die ersten Blasen in der Bürette aufsteigen. Für den Fall, dass während eines Versuches, die Bürette mehrere Male gefüllt werden muss, geschieht das Aufsaugen des Wassers langsam und gleichmässig, damit kein Wasserstoff, der sich zwischen der Bürette und $k_1$ befindet, mitgesogen wird. Wird vorsichtig Wasser in die Bürette gesogen, so bleibt der einmal hergestellte Überdruck in $w$ erhalten.

Ein anderer Fehler entsteht dadurch, dass man die Bürette den Temperaturschwankungen des Arbeitslokals aussetzt. Man erhält dann nicht nur in $w$, sondern auch in $z$ und $m_1$ ein Steigen oder Fallen, was keine Folge der Sauerstoffaufnahme ist. Dem ist abzuhelfen, indem man die Bürette ebenfalls auf einer konstanten Temperatur hält, was man auf folgende Weise erreicht:

Mittels einer Metall-Saugdruckpumpe *zp*, (die auch an dem kupfernen Rahmen befestigt ist, woran das Ganze sitzt), wird Wasser aus dem Thermostaten mit grosser Schnelligkeit in einen weiten Glaszylinder *wa* hochgepumpt, in welchem sich die Bürette befindet. Das Wasser kommt von unten in *wa* und wird oben durch die Röhre *af* wieder in den Thermostaten geleitet. Sogar bei hohen Temperaturen (50°, 55° C.) ist in dieser Weise die Temperatur

in der Bürette gleich der des Thermostaten zu halten.

*f.* Heizung und Wärmeregulierung stimmen im

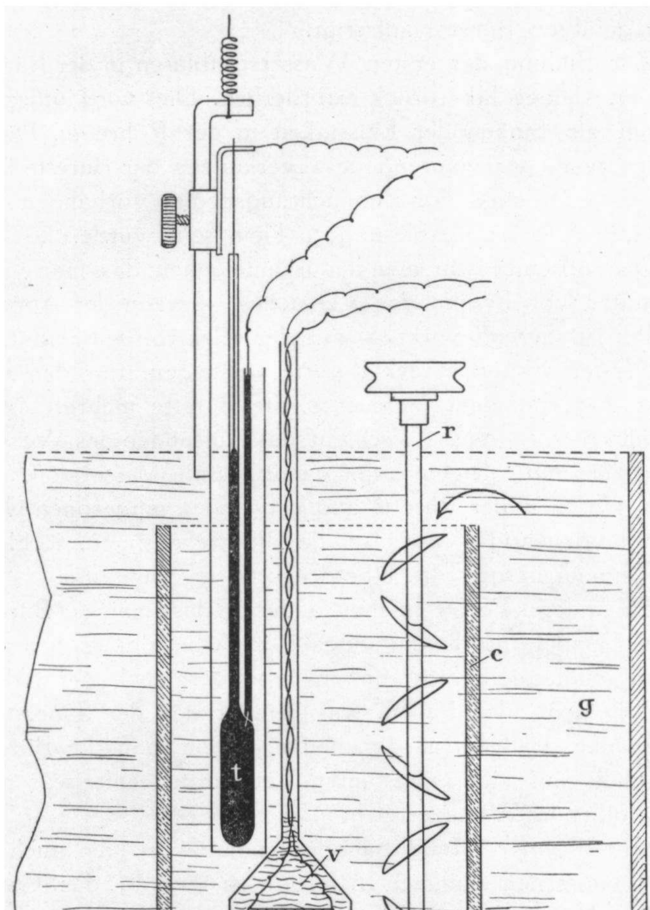



Fig. 7.

Prinzip überein mit jenen, die von Rutgers[1]) und Cohen Stuart[2]) beschrieben worden sind.

Der Heizungsapparat *v* (Fig. 7) besteht aus einer kupfernen Büchse, die mittels eines Metallrohres, aus dem Wasser ragt. In *v* befindet sich Paraffinöl. Dieses wird durch einen Nickelchromdraht, der um ein Stück Glimmer gewunden ist, elektrisch erwärmt.

Thermoregulator *t*, Rührapparat *r* und *v* stehen dicht

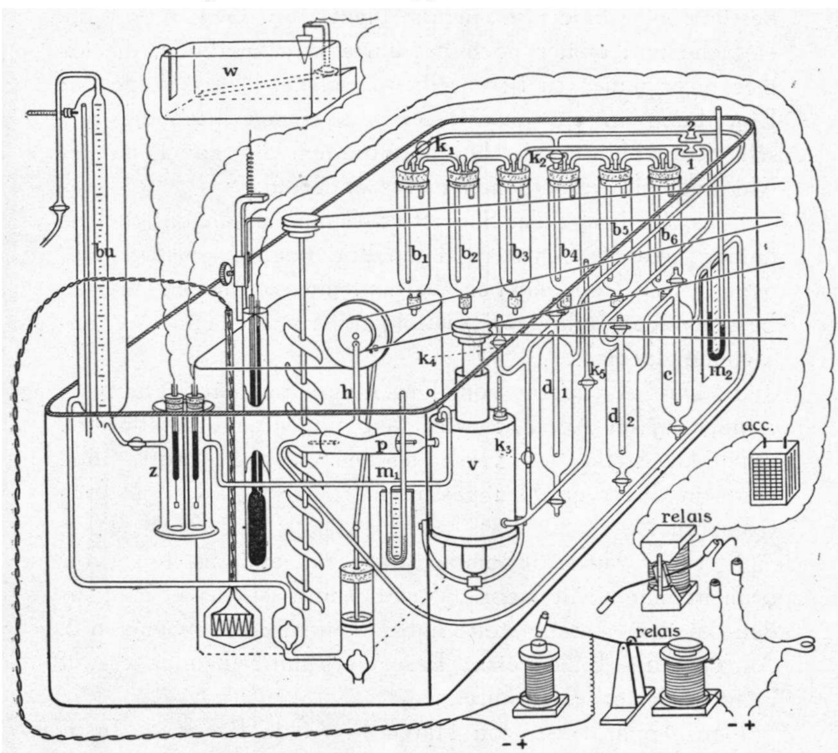



Fig. 8.

1) Rutgers. A. A. L. Recueil des travaux botaniques néerlandais, Vol. IX, 1912, pag. 1.

2) Cohen Stuart. Recueil des travaux botaniques néerlandais, Vol. XIX, Livraison 2, 1922.

neben einander in einem offenen Glaszylinder *c* der auf Füssen mitten im Thermostaten *g* gestellt ist. Der Thermoregulator ist, um jeden Einfluss von Erschütterungen auf das Quecksilber zu vermeiden, nach der Moll-Methode mittels Stahlfeder an der Decke des Zimmers befestigt.

Fig. 8 gibt eine Totalansicht des Apparates. (Ziffern und Buchstaben wie in Fig. 1).

Die hier beschriebene Methode bietet, was die $CO_2$-bestimmung anbetrifft, nichts Neues an. Gewählt ist die einfache und immer noch bewährte Barytmethode, die ich hier nicht näher zu beschreiben brauche. [1]) Als Folge der Einreihung in ein geschlossenes System erlitten die verschiedenen Unterteile Umgestaltungen, die jedoch an der Methode im wesentlichen nichts änderten.

Was die Frage der Sauerstoffbestimmung angeht, welche immer mehrere Schwierigkeiten bot, konnte eine befriedigende Auflösung gegeben werden, die, verglichen mit den bestehenden Methoden, [2]) die folgenden Vorteile und Vereinfachung darbietet:

*a*. Das Auftreten von Druck-und Sauerstoffgehaltverminderung im Apparat wird auf ein Minimum reduziert.

*b*. An Stelle des verbrauchten $O_2$ tritt sofort, ohne erst ein Sperrventil zu passieren, reiner $O_2$, was zu kontrollieren ist.

*c*. Eine Sauerstoffbombe oder ein anderes Reservoir braucht man nicht mehr. (Wie bekannt ist, erhält man aus den käuflichen Sauerstoffbomben keinen reinen Sauerstoff. Auch ist das Füllen eines Reservoirs mit reinem Sauerstoff nicht so leicht auszuführen).

Der Apparat ist von Herrn P. A. de Bouter, Institutsmechaniker am Botanischen Laboratorium zu Utrecht,

[1]) Siehe: Detmer. Pflanzenphysiol. Praktic. 1912. S. 161.
[2]) „ : Krogh. The respiration exchange of animals and man. Longmans, Green and Co., London, 1916.

angefertigt worden. Grossen Dank schulde ich ihm, nicht nur für die Art und Weise, womit er sich seiner Aufgabe erledigte, sondern auch für verschiedene sinnreiche Verbesserungen.

## B. Anaerobe Atmung.

Für die Bestimmung der $CO_2$-Produktion bei Sauerstoffabschluss findet man in der botanischen Literatur zweierlei Methoden angegeben.

Entweder sperrt man die Versuchsobjekte in einen geschlossenen sauerstofffreien Raum ein und bestimmt die gebildete $CO_2$-Menge volumetrisch, oder man leitet durch den Apparat über die Pflanzen einen sauerstofffreien Gasstrom, meist Wasserstoff, und absorbiert die gebildete $CO_2$ mittels einer Lauge.

Apparate nach der ersten Methode wurden schon von Möller [1]) und Chudiakow [2]) konstruiert. Beide Verfasser kamen zu dem Ergebnis, dass die volumetrische Methode für das Studium der anaeroben Gasausscheidung nicht zu empfehlen wäre, weil $CO_2$ absorbiert wurde von den Versuchsobjekten und vom Wasser im Apparat.

Später stellten Godlewski und Polzeniusz [3]) einen neuen Apparat nach demselben Prinzip her und meinten, es sei genügend nur eine Korrektur für die $CO_2$-Menge anzubringen, welche im Wasser des Apparats gelöst bleibt.

Es muss aber hier, wie aus der nachstehenden Erfahrung deutlich hervorgeht, gewarnt werden für den Gebrauch der volumetrischen $CO_2$-Bestimmung bei der anaeroben Atmung, weil damit unkontrollierbare Fehler entstehen.

1) Möller. H. Über Pflanzenatmung. Ber. der deutsch. bot. Ges. Bd. 2, 1884. S. 306.

2) Chudiakow. N. v. Beiträge zur Kenntnis der intramol. Atmung. Landw. Jahrb. Bd. 23, 1894. S. 333.

3) Godlewski. E. und Polzeniusz. Bull. intern. d. l'acad. d. sc. de Cracovie, 1901. S. 267.

Im Apparat Fig. 1 wurden folgende Änderungen vorgenommen.

In die Waschflaschen $d_2$ und $c$ wurde eine alkalische Pyrogallollösung [1] gebracht und die Elektroden in $Z$ mit einander gewechselt. Bei Zirkulation der Luft im geschlossenen System fand also in $d_2$ und $c$ Sauerstoffbindung statt, während die produzierte Kohlensäure in $b_1$, $b_2$ und $b_3$ vollständig absorbiert wurde. Zugleich wurde von der Elektrode in $Z$ soviel Wasserstoff zugeführt, als die Menge des $O_2$ betrug, welche in die Pyrogallollösung verschwand.

Wenn die Flüssigkeit im geschlossenen Schenkel des Manometers $m_1$ nicht weiter steigen würde, so wäre das ein sicherer Beweis dafür, dass kein $O_2$ mehr absorbiert wurde.

Dieser Zustand konnte nach einer Zirkulation von neun Stunden erreicht werden. Von jetzt an musste selbstverständlich die Flüssigkeit in $m_1$ auch auf dem Nullpunkt stehen bleiben, wenn sich Temperatur und Barometerdruck nicht änderten.

Die Erfahrungen waren aber ganz andere. Die Temperatur blieb bis auf 0.03° C. konstant und der Barometerdruck war einige Millimeter niedriger geworden. Im geschlossenen Schenkel des Manometers $m_1$ fiel aber allmählich die Flüssigkeit während 10 Stunden. Es lag auf der Hand hieraus zu folgern, dass nicht nur Kohlensäure, sondern auch etwas anderes in Gasform aus den Pflanzen entwich.

An erster Stelle könnte man an Alkoholdämpfe denken, und diese Vermutung wurde folgenderweise bestätigt.

Nachdem in einem zweiten Versuch ohne Pflanzen nach zehn Stunden die $O_2$-Absorption beendet war, wurden einige Tropfen Alkohol (75 %) auf die feuchte Watte gebracht, welche sich im Atmungsgefäss befand. Die

---

1) Siehe: Treadwell. F. P. Kurzes Lehrbuch der analytischen Chemie Bd. 11, 1922. S. 666.

Eine Pyrogallollösung von der dort angegebenen Konzentration entwickelt kein Kohlenmonoxyd.

Flüssigkeit im geschlossenen Schenkel des Manometers $m_1$ fiel nun innerhalb fünf Minuten bis auf denselben Punkt, wie im ersten Versuch. Hieraus geht also hervor, dass wahrscheinlich bei Sauerstoffabschluss der abgeschlossene Raum sich nach und nach mit Alkoholdampf sättigt.

Wie sind nun die Verhältnisse im Apparat von Godlewski und Polzeniusz?[1])

Dieser besteht im wesentlichen aus einem konischen Kolben, an dem ein Manometer befestigt ist. Die ausgeschiedenen $CO_2$-Mengen berechneten diese Autoren aus dem Fallen des Manometers. Es braucht, wie aus dem Obigen hervorgeht, nicht weiter betont zu werden, dass dieser Manometerfall in ihren Versuchen nicht nur die Folge der $CO_2$ Produktion war, sondern auch durch die Sättigung mit Alkoholdampf verursacht werden konnte. Eine Korrektur hierfür anzubringen ist nicht möglich; denn man weiss nicht, wie dieser Dampf sich in den aufeinanderfolgenden Zeiteinheiten gebildet hat.

Für unsere Versuche musste also die zweite Methode gewählt werden. Der von uns benutzte Apparat sieht in den Hauptzügen dem Pfefferschen[2]) sehr ähnlich und läuft darauf hinaus, einen sauerstofffreien Wasserstoffstrom über die Pflanzen zu leiten, und die mitgenommene Kohlensäure im Barytwasser zu ermitteln.

Fig. 9. gibt ein Bild der Aufstellung.

Im Thermostaten *th* befinden sich die Atmungsgefässe *a* und *b* genau nach denselben Angaben, wie oben beschrieben,

Der Wasserstoff wird im Kippschen Apparat 1 aus Zink pro Analyse und chemisch reinem *HCl* (20 %) gebildet. (Merck, Darmstadt). Dieses Gas geht durch einige Waschflaschen, die respektive KOH-, Kaliumpermanganat und alkalische Pyrogallollösung (2, 3 und 4) enthalten. Das so gereinigte

1) Godlewski und Polzeniusz, l. c.

2) Pfeffer. W. Über intramol. Atmung. Unters. aus dem bot. Inst. Tübingen. Band 1, 1885. S. 636.

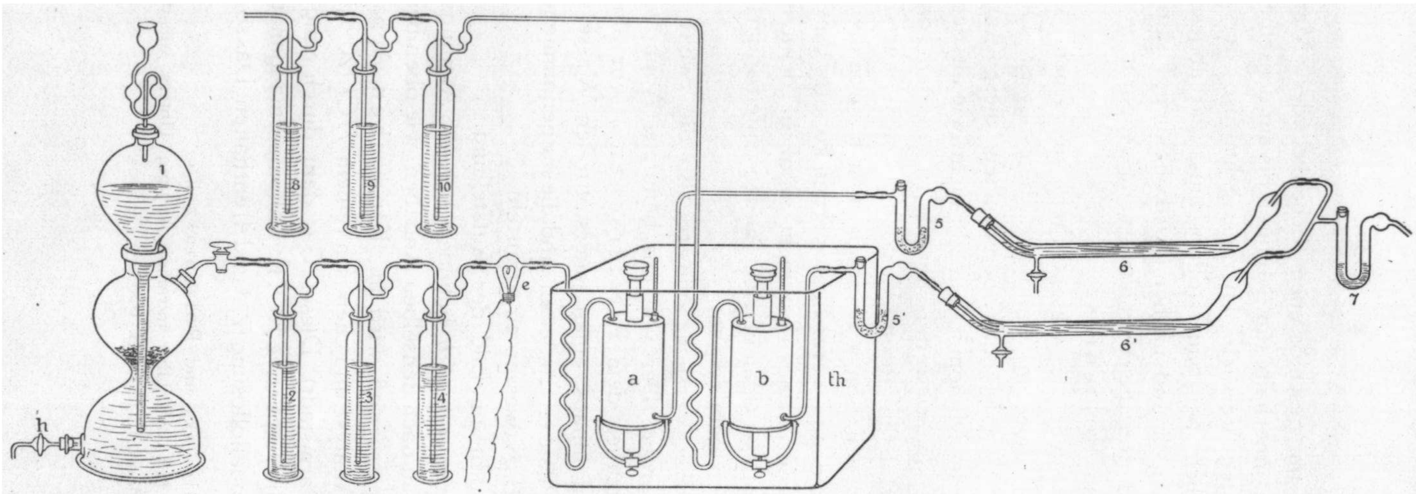



Fig. 9.

Gas passiert darauf eine elektrische Glühlampe *e*, um dann von oben ins Atmungsgefäss *a* zu treten. Die aus dem Gefäss *a* mitgeführte $CO_2$ wird in 5 getrocknet und in der Pettenkoferschen Röhre *6*, worin sich 100 ccm Barytwasser befinden, gebunden. Das Barytwasser in der U-Röhre *7* dient zur Kontrolle.

In das Gefäss *b* kommt Luft, die erst durch einige Waschflaschen, mit respektive KOH- (8 und 9) und Kaliumpermanganatlösung (10) geleitet worden ist, um $CO_2$-frei und weiter gereinigt zu werden. Um einen gleichmässigen Gas-, resp. Luftstrom, durch die Atmungsgefässe zu leiten, wird an den Hahn der Wasserleitung folgende Vorrichtung angebracht, die besser funktionniert als alle Aspiratoren, die bisher in Gebrauch gewesen sind.

Fig. 10 veranschaulicht diese einfache Vorrichtung.

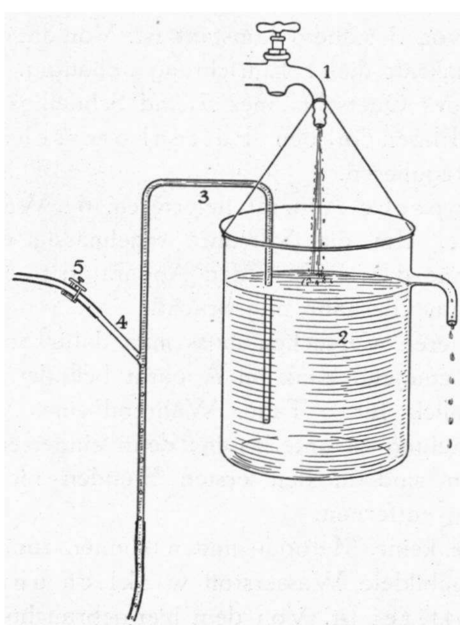



Fig. 10.

In das Becherglas *2* (mit einem Überlauf versehen) fliesst Wasser aus der Wasserleitung *1*. In 2 befindet sich ein Heber *3*. An diesen ist ein Seitenstück *4* angebracht worden, welches mit der Kontrollröhre *7* (Fig. 9) durch einen Kautschukschlauch verbunden ist. Durch einen Quetschhahn *5*. kann man den Schlauch mehr oder weniger abschliessen. Um ein konstantes Saugen durch den Apparat zu erzielen, verfährt man in folgender Weise:

Hahn *1* wird geöffnet, Hahn *5* geschlossen und am langen Schenkel des Hebers *3* gesogen, wodurch das Wasser aus *2* in den Abguss gehoben wird. Öffnet man nun Hahn *5* ein wenig, so werden sehr regelmässig Luftblasen aus *4* durch das abfliessende Wasser in *3* mitgerissen. Es muss natürlich immer mehr Wasser aus *1* zufliessen, als durch *3* abgeführt wird, sodass die Entfernung des Wasserniveaus in *2* und das untere Ende des langen Schenkels von *3* ständig konstant ist. Von diesem Abstand ist die Saugkraft dieser Einrichtung abhängig.

Mittels des Quetschhahnes *5* sind Schnelligkeit und Anzahl der Blasen in den Pettenkoferschen Röhren genau zu regulieren.

Der Kippsche Apparat lieferte ca. 6 l. Wasserstoffgas pro Stunde. Um die Salzsäure regelmässig erneuern zu können, ohne dass Luft in den Apparat tritt, ist am Fuss desselben ein Glashahn angebracht.

Bei längeren Versuchen muss man dafür Sorge tragen, dass sich genügend Zink im Apparat befindet. 1 Kg. Zink langt reichlich für 6 Tage. Während eines Versuchs ist jede Zinkfüllung zu unterlassen; denn eingetretene Sauerstoffmengen sind in den ersten Stunden nicht aus dem Apparat zu entfernen.

Ich habe keine Methode finden können zum Nachweis, dass der gebildete Wasserstoff wirklich und absolut sauerstofffrei ist. Von dem hier gebrauchten Gas kann mit aller Sicherheit das Folgende gesagt werden:

1. dass es, durch eine Phosphorflasche geleitet, in einigen Minuten das Phosphorleuchten auslöschte.

2. Dass die etwaigen Spuren Sauerstoff nicht hinreichend waren, um den glühenden Draht eines elektrischen Lämpchens zum Durchbrennen zu bringen.

3. dass die Atmung einer streng aeroben Bakterienkultur in diesem Gas nach einigen Stunden vollständig aufhörte.

Es darf deshalb wohl angenommen werden, dass der in unseren Versuchen gebrauchte Wasserstoff physiologisch sauerstofffrei war.

Die Titration des Barytwassers ist mit $\frac{1}{10}$ n. *HCl*-Lösung ausgeführt. Als Indikator diente eine alkoholische Phenolphtaleinlösung.

Versuche, bei denen der Wasserstoff elektrolytisch gebildet wurde ergaben, dass bei heftiger Elektrolyse auch Sauerstoffspuren nach der Wasserstoffelektrode hin diffundieren, und man in dieser Weise keinen sauerstofffreien Wasserstoff bekommt. Zugleich entstand bei dieser Elektrolyse eine derartige Wärmeentwicklung, dass die Flüssigkeit bald zu sieden begann, und ein Kühlapparat angebracht werden musste.

Auch vom Benutzen einer Stickstoffbombe musste abgesehen werden. Wie bekannt ist, besitzt dieses Gas in den käuflichen Bomben noch einige % Sauerstoff. Es gelang uns nicht diesen Stickstoff sauerstofffrei zu machen; denn das Leuchten vom Phosphor hörte nicht auf, nachdem dieses Gas mehrere Waschflaschen mit einer alkalischen Pyrogallollösung passiert hatte und danach noch durch eine Röhre mit glühenden kupfernen Drehspänen geleitet worden war.

Dass der von uns gebrauchte Wasserstoff keinen schädlichen Einfluss auf die Keimlinge ausübte, zeigte sich folgendermassen.

Fünfzig trockne Samen auf feuchte Watte gelegt, bildeten

bei 25° C. in 2 mal 24 Stunden 141.6 ccm. $CO_2$. Diese Samen befanden sich in einem Gasgemisch, das dadurch erhalten wurde, dass man den Sauerstoff der Luft absorbierte und an Stelle des $O_2$, Wasserstoff setzte (siehe Seite 132). Das Gasgemisch enthielt also höchstens 20 % Wasserstoff.

Ein zweiter Versuch mit 50 Samen wurde bei der gleichen Temperatur und während derselben Zeit in reinem Wasserstoff angestellt. Die ausgeschiedene $CO_2$ betrug jetzt 143.6 ccm. Aus diesem geringen Unterschied der produzierten $CO_2$-Mengen, darf wohl gefolgert werden, dass der Wasserstoff als solcher keinen merkbaren Einfluss auf die $CO_2$-Ausscheidung bei der anaeroben Atmung ausübt. Wäre dies der Fall, so hätten in den 48 Stunden die Keimlinge in reinem Wasserstoff auch sehr wahrscheinlich ein ganz anderes Bild der $CO_2$-Ausscheidung geben müssen, als in einem Gasgemisch mit 20 % Wasserstoff.

Ebenso wie in den Versuchen über normale Atmung, wurde die Temperatur, von 20° C. an und höher, bis auf 0.03° C. konstant gehalten. Für die Beobachtungen bei 10° C. mussten fortwährend Eisstückchen in den Thermostaten gebracht werden. Die Schwankungen betrugen bei dieser Temperatur 0.1° C.

Eine konstante Temperatur von 0° C. erhielt man durch ein Gemenge von schmelzendem Eis und Salz.

# DRITTER ABSCHNITT.

## Material und Vorbehandlung.

Da von den meisten Forschern zum Studium des Atmungsprozesses u. a. auch keimende Samen von Pisum sativum gebraucht wurden und besonders auch um einen direkten Vergleich mit den Kuyperschen[1]) Resultaten machen zu können, habe ich für alle meine Versuche eine selbe Partie Erbsen genommen von der Varietät „Kaapsche groenen".

Kuyper gebrauchte Keimpflanzen, die er dadurch erhielt, dass er die Samen erst 24 Stunden in Wasser legte und sie dann zwei Tage in feuchten Sägespänen keimen liess, bei einer Temperatur die zwischen 19° und 23° C. schwankte.

Ich dagegen habe von einer vier und zwanzigstündigen Quellung bald absehen müssen, da hierdurch unerwünschte Bedingungen gegeben wurden. Oft war deutlich zu riechen, dass Samen, die 24 Stunden in Wasser gelegen hatten, bereits zur Alkoholbildung übergegangen waren. Auch war dann zu bemerken, dass das Wasser sich getrübt hatte.

Ich habe erfahren, dass bei normaler Temperatur bereits innerhalb zwei Stunden nach der Wasseraufnahme, die Samen auch messbare $O_2$-Mengen aufnehmen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass Samen, die man 24 Stunden in Wasser lässt (und mögen sie auch z. B. in einer weiten Glasschale

---

1) Kuyper. l. c.

liegen) bald an $O_2$-Mangel leiden, wodurch anaerobiontische Prozesse eingeleitet werden.

Die Quellungsperiode wurde deshalb auf 12 Stunden zurückgeführt. Nach dieser Zeit ist bei Zimmertemperatur (ca. 20° C.) die Wasseraufnahme noch nicht ganz beendigt.

Von diesen gequollenen Samen wurden nun 150 ausgewählt, die augenscheinlich eben weit waren, was die Wasseraufnahme anbetrifft. Diese wurden in feuchte Sägespäne gelegt, wo sie 2 × 24 Stunden keimten. Im Mittel hatten dann die Wurzeln eine Länge von ca. 1 cm. erreicht.

Aus diesen Keimlingen wurden nun 50 oder 75 mit möglichst gleicher Wurzellänge ausgesucht. Die kamen nun in den Apparat und blieben dort während der Nacht bei 25° C. In dieser Zeit wirkte bis zum folgenden Morgen der Apparat ventilierend.

Es lag kein einziger Grund vor, um während der Nacht die Temperatur nicht auf 25° C. zu halten, da, wie sich aus fünftägigen Versuchen ergeben hatte, eine Temperatur von 25° C. gar keinen schädlichen Einfluss auf die Keimpflanzen ausübte, sondern im Gegenteil als eine sehr günstige angesehen werden musste.

Nach der nächtlichen Ventilation bei 25° C. hatten die Keimlinge am andern Morgen eine Wurzellänge von ca. 2 cm. Ein weiteres Aussuchen gleicher Exemplare wäre verlorene Mühe, denn, angenommen, dass man morgens um 8 Uhr aus diesen 50 z. B. nochmals 20 aussuchte mit einer Wurzellänge von 2 cm., dann würden sie doch 4 bis 6 Stunden später nicht mehr gleich lang sein. Vorausgesetzt, dass die Wurzellänge ein guter Massstab sei um gleich entwickelte Exemplare zu bestimmen, so kann doch keine Rede davon sein, dass man lediglich auf das Aussehen hin, Keimpflanzen aussuchen kann, welche sich später gleichmässig weiter entwickeln sollen. Man darf jedoch wohl erwarten, dass das Arbeiten mit 50 bis 75 Exemplaren schliesslich doch zu einem Mittelwerte führen wird.

Der Verlauf der $CO_2$-Kurven mit den so vorbehandelten Keimpflanzen zeigte eine solche Ähnlichkeit mit den Kuyperschen Resultaten, dass hieraus wohl abgeleitet werden darf, dass die Keimpflanzen in diesen Versuchen sich auch in einem gleichartigen Entwicklungsstadium befanden.

In Untersuchungen, wobei die Keimpflanzen noch jünger waren (20 Stunden gekeimt), wurden die Samen zuerst 9 Stunden in Wasser von 25° C. gequollen und blieben dann über Nacht (11 Stunden) im Apparat auf 25° C. Hier waren also die äusseren Verhältnisse viel gleichmässiger. Statt in den Apparat eine Wasserschale zu bringen, wurden die Keimlinge so auf Ebonitplatten gelegt, dass die Würzelchen auf feuchter Watte ruhten.

Da die Frage der Wasserversorgung von so grosser Wichtigkeit ist, wenn man mit Keimlingen arbeitet, hielt ich dieses Verfahren für die beste Lösung.

Wie bereits gesagt worden ist, ergibt sich ein grosses Zeitersparnis, wenn die Keimlinge abends in den Apparat gebracht werden; denn am andern Morgen können sofort die Versuche beginnen. Es ist jedoch noch ein anderer Vorteil an der langen Vorperiode im Apparat verbunden. Dieser besteht hauptsächlich darin, dass man während dieser Periode eine längere Zeit die ganz neuen Umstände auf die Keimlinge einwirken läszt.

Es ist wohl nicht anzunehmen, dass Keimlinge, die man aus feuchten Sägespänen holt, danach mit Wasser abspült und endlich nach mehreren Manipulationen in einen Apparat bringt, keinem einzigen Einfluss von dem plötzlichen Übergang in völlig veränderte äusseren Verhältnisse unterliegen würden.

So teilt Kuyper [1]) z. B. mit, dass bei 20° und 30° C. die Objekte bereits nach zehn bis zwölf Minuten diese Temperatur angenommen hatten, aber dass dennoch eine

---

[1]) Kuyper, l. c.

Stunde gewartet werden musste, ehe mit den Beobachtungen angefangen werden konnte, da sonst zu niedrige $CO_2$-Werte gefunden wurden. Nach ihm ist es möglich, dass bei dieser Temperatur, die $CO_2$-Produktion nicht sofort auf der Höhe war, die mit diesem Wärmegrad übereinstimmte.

Wahrscheinlich muss die Erklärung dieser Erscheinung darin gesucht werden, dass die Pflanzen, welche in so mancherlei Hinsicht plötzlich in eine ganz andere Lage versetzt wurden, eine längere Weile brauchten, um ein neues Gleichgewicht herzustellen,

Bei den Versuchen, die mit trocknen Samen begannen, wurden die Ebonitplatten erst mit feuchter Watte bedeckt, worauf die Samen zu liegen kamen. Natürlich findet in diesem Falle die Wasseraufnahme viel langsamer statt, als wenn die Samen ganz mit Wasser oder mit feuchten Sägespänen umgeben sind.

Bei der anaeroben Atmung wurde von der Methode, den Apparat $O_2$-frei zu machen, wie Pfeffer,[1]) Amm,[2]) Chudiakow[3]) und Stich[4]) es taten, abgewichen.

Pfeffer und Chudiakow evakuierten den Apparat mittels einer Wasserstrahlluftpumpe. Dann wurde Wasserstoff hindurchgeleitet, hiernach noch zwei bis dreimal evakuiert und wieder Wasserstoff hindurchgeführt. Der Sauerstoff im Apparat war nach diesen Autoren „bis auf verschwindende Spuren" verdrängt. Wie dies festgestellt wurde, wird nicht angegeben.

Amm hat schliesslich auf das Evakuieren verzichtet, weil hierdurch „sehr bedenkliche Störungen" verursacht wurden. Welcher Natur diese Störungen waren gibt er leider nicht näher an. Nach ihm war der Sauerstoff vollständig aus dem Apparat verschwunden, nachdem er eine halbe Stunde lang

1) Pfeffer, l. c.
2) Amm. A. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 15, 1893. S. 1.
3) Chudiakow, l. c.
4) Stich. C. Flora, 1891. S. 1.

einen kräftigen Wasserstoffstrom hindurchgeführt hatte. Diesbezüglich waren meine Erfahrungen anders.

In einem Phosphorfläschchen, welches am Ende meines Apparates befestigt wurde, blieb der Phosphor noch sechs Stunden im Wasserstoffstrom leuchten. Erst nachdem sieben Stunden Wasserstoff durchgeleitet worden war, hörte das Leuchten auf. Möglich ist, dass der Apparat von Amm wesentlich kleiner war als der meinige, und dass es wirklich richtig ist, dass er nach einer halben Stunde den gesamten $O_2$ vertrieben hatte. Aber dann musste er noch beweisen, dass in dieser kurzen Zeit auch aller Sauerstoff aus den Objekten nach aussen hin diffundiert war, was natürlich sehr unwahrscheinlich ist. Wenn man nach Amms Methode arbeitet, läuft man immer Gefahr, dass die ersten Beobachtungen keine zuverlässigen Zahlen geben, da nämlich die dann gebildeten $CO_2$-Mengen nicht nur vom „intramolecularen" Prozess herrühren, sondern dass der absorbierte $O_2$ auch noch verbraucht wurde.

Gegen die Methoden von Pfeffer, Chudiakow, und Stich kann man dieselben Bedenken erheben, während hier noch obendrein die Möglichkeit besteht, dass das Evakuieren schädlich wirkt.

Um die Beziehungen zwischen normaler und „intramolecularer" Atmung feststellen zu können, handeln Pfeffer, Chudiakow und Stich folgendermassen: Zunächst werden einige Wahrnehmungen in Luft gemacht. Dann folgt das Evakuieren und Wasserstoffdurchleiten (wie lange dies dauert wird nicht angegeben.)

Nun werden einige Versuche in der Wasserstoffatmosphäre genommen. Danach wird wieder evakuiert und Luft durchgesogen. Scheinbar wird der folgende Versuch in Luft direkt genommen.

Man kann mit Recht an der Richtigkeit dieser Ergebnisse zweifeln. Man denke sich einige Keimlinge, die bis zum innersten Kern $O_2$-frei gemacht worden sind, plötzlich in

Luft gebracht. Es wird dann wenigstens mehrere Stunden dauern, ehe das $O_2$ bis zum Kern durchgedrungen ist, und man also wieder von einer normalen Atmung sprechen kann. Die angeführten Bedenken wurden nun in unseren Versuchen in folgender Weise beseitigt.

Wiederum gingen die Keimlinge abends in den Apparat und blieben dort während der Nacht bei 25° C. in einem kontinuierlichen Wasserstoffstrom. Nun hatte man volle Sicherheit, dass sowohl der Apparat wie die Objekte am andern Morgen wirklich $O_2$-frei waren.

Das einzige Bedenken war, dass vielleicht während dieser Vorperiode bei 25° C. die $CO_2$-Produktion wesentlich gesunken sein könnte.

Bei *Pisum sativum* war das jedoch nicht der Fall. Geht man von gequollenen Samen aus, so findet man bei 25° C. fünf Tage lang in aufeinanderfolgenden Zeiteinheiten ungefähr eine konstante Menge ausgeschiedener $CO_2$. Hieraus folgt, dass bei einer Vorperiode von 12 Stunden im Wasserstoffstrom man mit einem Prozess zu tun hat, der tagelang konstant bleiben würde bei dieser Temperatur. Daraus ergibt sich eine feste Basis, die einen Vergleich mit höheren und niederen Temperaturen gestattet.

Ein Vergleich der ausgeschiedenen $CO_2$-Menge in Wasserstoff und in Luft an denselben Objekten ist nur dann richtig auszuführen, wenn man nach den Versuchen in Wasserstoff auch mindestens eine Periode von 12 Stunden in Luft folgen lässt, um dann die Wahrnehmungen in Luft zu beginnen. Solche Vergleiche haben wenig oder gar keinen Wert, denn man erhält dann $CO_2$-Mengen, die in Entwicklungsstadien gebildet wurden, welche wenigstens 24 Stunden aus einander liegen. Auch ergaben unsere Versuche, dass wahrscheinlich der Verlauf der $CO_2$-Abgabe bei normaler und anaerober Atmung nicht von denselben Faktoren abhängig ist.

Für die Versuche in Wasserstoff durfte das Sterilisieren

der Samen unterbleiben, weil gezeigt werden konnte, dass die Bakterien, welche sich in dem hier gebrauchten Material entwickelten, streng aerob waren, und daher keinen Anteil an der $CO_2$-Produktion im Wasserstoff nahmen.

Auch bei den anderen Versuchen wurde absichtlich nicht sterilisiert, obwohl es sehr erwünscht bleibt, dass bei allen physiologischen Beobachtungen jede Entwicklung von Mikroorganismen vorgebeugt wird.

Atmungsversuche in absolut sterilen Verhältnissen bringen eine Schwierigkeit experimenteller Art mit sich. Erstens müsste man sehr genau zeigen können, dass das zur Sterilisation gebrauchte Antiseptikum gar keinen schädlichen Einfluss auf die Samen ausüben würde. Und weiter sollte man besondere Vorrichtungen an den sterilisierten Atmungsapparat angebracht haben, wodurch die steril gemachten Samen ins Atmungsgefäss kommen, ohne dabei an die Aussenluft gebracht zu werden, womit die Möglichkeit zu neuer Infektion gegeben sein dürfte.

Die Ausführungen einer solchen Einrichtung konnte unterlassen werden, denn eine Behandlung der Samen mit einer Sublimatlösung 1 pro Mille, zeigte sogleich die Unbrauchbarkeit eines solchen Antiseptikums.

Über das Sterilisieren von Samen werden in der botanischen Literatur sehr unzulängliche Angaben mitgeteilt.

So berichtet Grafe [1]), dass er die trocknen Samen mit einer Sublimatlösung 1 pro Mille, oder Bromlösung abbürstet, während Godlewski und Polzeniusz [2]) sowohl mit einer 1 % als 1 ‰ Sublimatlösung arbeiten.

Nabokich [3]) lässt mehrere Stunden lang eine Bromlösung 2 ‰ auf die Samen einwirken, obwohl er einige Jahre früher [4]) zu dem Ergebnis gekommen war, dass die

1) Grafe. V. Ernährungsphysiologisches Prakt. Berlin, 1914, S. 314.
2) Godlewski und Polzeniusz, l. c.
3) Nabokich. Landw. Jahrb. Bd. 38, 1909. S. 53.
4) „ Ber. der deutsch. Bot. Ges. Bd. 21, 1903. S. 137.

Atmung keimender Samen, nach einer Behandlung während einer halben Stunde mit einer 1 ‰ Brom-oder Sublimatlösung, längere Zeit stimuliert wurde.

TABELLE I.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm. $CO_2$ ausgesch. 1 | ccm. $CO_2$ ausgesch. 2 | ccm $CO_2$ ausgesch. pro Std. 1 | ccm CO ausgesch. pro Std. 2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Juni 7. | 11 Vorm.—9 Nachm. | 10 | 25.0° C. | 13.8 | 9.6 | 1.3 | 0.9 |
| „ 7/8. | 9 Nachm.—11 Vorm. | 14 | „ | 34.2 | 24. | 2.4 | 1.7 |
| „ 8. | 11 Vorm.—10 Nachm. | 11 | „ | 55.2 | 24. | 5. | 2.1 |
| „ 8/9. | 10 Nachm.—8 Vorm. | 10 | „ | 63.6 | 26.4 | 6.3 | 2.6 |
| „ 9. | 8—9 Vorm. | 1 | „ | 8.2 | 2.8 | 8.2 | 2.8 |
| | 9—10 | 1 | 50.0° C. | — | — | — | — |
| | 10—11 | 1 | „ | 18. | 10.2 | 18. | 10.2 |
| | 11—12 | 1 | „ | 9.6 | 6.6 | 9.6 | 6.6 |
| | 12—1 Nachm. | 1 | „ | 8.4 | — | 8.4 | — |
| | 1—2 | 1 | „ | 6. | 5.4 | 6. | 5.4 |
| | 2—3 | 1 | „ | 5.4 | 5.4 | 5.4 | 5.4 |
| | 3—4 | 1 | „ | 3.8 | 4.2 | 3.8* | 4.2 |
| | 4—6 | 2 | „ | 7.8 | 9. | 3.9 | 4.5 |
| | 6—7 | 1 | „ | 6.6 | 4.8 | 6.6 | 4.8 |
| | 7—8 | 1 | „ | 10.8 | 4.8 | 10.8 | 4.8 |
| | 8—9.30 | 1½ | „ | 27.6 | 9. | 18.4 | 6. |
| „ 9/10. | 9.30 Nachm.—8 Vorm. | 10½ | 25.0° C. | — | — | — | — |
| „ 10. | 8—9 | 1 | „ | 18.2 | 13.2 | 18.2 | 13.2 |
| | 9—10 | 1 | „ | 19.2 | 13 2 | 19.2 | 13.2 |
| | 10—11 | 1 | „ | 20.4 | 14.4 | 20.4 | 14.4 |
| | 11—12 | 1 | 55.0° C. | — | — | — | — |
| | 12—1 Nachm. | 1 | „ | 49.2 | 34.8 | 49.2 | 34.8 |
| | 1—2 | 1 | „ | 44.4 | 32.4 | 44.4 | 32.4 |
| | 2—4 | 2 | „ | 82.2 | 64.8 | 41.1 | 32.4 |

Um festzustellen, ob eine Behandlung mit einer 1 ‰ Sublimatlösung auch einigen Einfluss auf den Atmungsverlauf keimender Erbsen haben würde, wurde folgender Versuch angestellt.

Von zwei Portionen von je 50 trocknen Erbsen, wurde die eine *1* infiziert mit dem Presssaft einer Anzahl keimender Samen, die 24 Stunden bei 45° C. verweilt hatten und daher eine heftige Bakterientätigkeit besassen. Die andere Portion *2* wurde 20 Minuten in einer 1 ‰ Sublimatlösung gelegt und danach 5 Minuten in reinem Wasser ausgewaschen. In zwei Parallelversuchen mit diesen beiden Portionen ergab sich, dass die gebildeten $CO_2$-Mengen bei einer Konstanten Temperatur von 25° C. stark voneinander abwichen. (Tabelle 1).

Während die erste Portion *1* 46 Stunden lang eine fortdauernde Steigung der Atmungsintensität anzeigte, blieb die $CO_2$-Ausscheidung der zweiten Portion *2* in den letzten 22 Stunden auf demselben Mittelwert. So war in der 46sten Stunde die $CO_2$-Agabe von *1* 8.2 ccm. pro Stunde während *2* nur 2.8 ccm. produzierte.

Es bestanden nun zwei Möglichkeiten um diesen grossen Unterschied zu erklären. Entweder verursachten die Bakterien, welche in *1* im Übermass vorhanden waren, diese grosse $CO_2$-Produktion, oder die Behandlung mit Sublimat, war in *2* die Ursache der geringen $CO_2$-Erzeugung.

Um dies festzustellen, benutzte ich die Erfahrung, die sich in später zu besprechenden Versuchen ergeben hatte, und die Temperatur wurde auf 50° C. erhöht. Sowohl in *1* als auch in *2* stieg sogleich die $CO_2$-Produktion, um dann in den folgenden Stunden stark zu fallen. Dies dauerte in beiden Experimenten sechs Stunden lang. Dann wurde ein Wendepunkt* erreicht, und die $CO_2$-Abgabe steigerte sich aufs neue, und zwar in *1* wieder viel stärker als in *2*.

Da nun 50° C. für keimenden Samen unbedingt tödlich ist, kann das Steigen von diesem Wendepunkt an, nicht

anders als von der Bakterienentwicklung herrühren, welche sich scheinbar bei 50° C. noch in optimalen Bedingungen befindet, eine Tatsache, die später auch mit aller Gewissheit festgestellt werden konnte.

Nach sechs Stunden bei 50° C. sehen wir also in *1*, wo wahrscheinlich die meiste $CO_2$ von einer grossen Bakterienmasse geliefert wurde, dass diese Bakterien in diesem Falle höchstens 3.8 ccm. abgeben.

Nehmen wir den ungünstigsten Fall an, und berechnen wir für die Bakterienatmung in *1* in der 46sten Stunde bei 25° C. ebenfalls 3.8 ccm. während wir annehmen, dass in *2* noch keine $CO_2$-Bildung von Bakterien stattfindet, so würde die Atmung der Keimlinge in *1* 8,2—3.8 = 4.4 ccm. betragen, also noch immer reichlich 50 % grösser sein als in *2*. Hieraus folgt, dass der grosse Zahlenunterschied bei diesen Versuchen nicht durch die Atmung einer übermässigen Bakterienmenge in *1* verursacht wurde, und dass der Verlauf in *2* eine Nachwirkung war von dem schädlichen Einfluss, der durch die Behandlung mit Sublimat 1 ‰ hervorgerufen wurde.

Obwohl nun vom Sterilisieren abgesehen wurde, war es doch erwünscht einmal zu untersuchen, wie gross der Fehler sein konnte, der gemacht wurde, wenn man mit nicht sterilisiertem Material arbeitete.

Nachdem am 9. Juni die Bakterien, sowohl in *1* als auch in *2* sich 10 Stunden lang bei 50° C. optimal entwickeln konnten, was sich besonders aus *1* ersehen lässt, wurde die Temperatur auf 25° C. erniedrigt. Am folgenden Morgen konnte man nun sehen, wie gross bei 25° C. die Atmungsintensität einer derartigen Mischkultur von Bakterien war.

Es stellte sich dann heraus, dass die Steigung der Bakterienatmung bei 25° C. sehr langsam vor sich geht, im Vergleich mit derjenigen bei 50° C.

Es ist sicher nicht übertrieben, wenn man sich vorstellt,

dass die Bakterienmengen am 10. Juni in beiden Apparaten mindestens hundertmal grösser waren, als diejenigen, welche man normalerweise bei 50 Erbsen bei 25° C. erwarten darf. Daraus folgt dann, dass beim Arbeiten mit unsterilisierten Erbsen, die Atmung dieser Bakterien bei 25° C. höchstens den hundersten Teil von den am 10 Juni gefundenen Werten betragen kann, also ca. 0.2 ccm pro Stunde.

Bei Temperaturen innerhalb der Behaglichkeitsgrenze braucht man nicht zu befürchten, dass der Verlauf des Atmungsprozesses, nach der $CO_2$-Abgabe zu urteilen, wesentlich beinflusst wird durch die mitatmenden Bakterien.

Solange man bei Keimlingen in jeder Hinsicht normale Umstände hat, wird die Bakterienentwicklung stets durch das lebende Plasma der Zellen innerhalb bestimmter Grenzen gehalten werden.

Wenn eine derartige Selbstverteidigung des Zellorganismusses nicht existierte, so wäre in der freien Natur eine jede Entwicklungsmöglichkeit für keimende Samen ein für allemal ausgeschlossen.

Ein Vorherrschen der Bakterien trat in den von uns gemachten Versuchen ohne vorhergehende Sterilisation nur dann auf, wenn die hohe Temperatur die Zellen schädigte, also die Plasmatätigkeit langsam herabgesetzt worden war.

Wie sich weiter aus Tabelle *1* ergibt, ist eine Temperatur von 55° C. für diese Bakterien schädlich. Die Erhöhung der Temperatur von 25° auf 55° C. brachte zwar eine direkte Steigung der Bakterienatmung mit sich, aber im Gegensatz zu 50° C folgte sofort ein Fallen der $CO_2$-Abgabe.

## VIERTER ABSCHNITT.

### Übersicht der Literatur.

Im Folgenden wird hauptsächlich diejenige Literatur berücksichtigt, die sich bezieht auf Untersuchungen, bei denen nur Keimlinge als Versuchsobjekte dienten.

Die Beobachtungen, an abgeschnittenen Blättern, Stengeln u.s.w. gemacht, sind meines Erachtens nicht ohne Weiteres mit denjenigen vergleichbar, wobei die Forscher mit keimenden Samen experimentiert haben.

### A. Normale Atmung.

#### a. *Der Atmungsverlauf beim Keimen.*

1. Versuche, die sich auf die $CO_2$-Ausscheidung beziehen.

Schon Huber[1]) und de Saussure[2]) wiesen darauf hin, dass bei der Keimung die ausgeatmete $CO_2$-Menge mit der Entwicklung zunimmt. Verschiedene andere Forscher, die sich mit dem Thema der Atmung während des Keimens beiläufig befassten, kamen zu demselben Ergebnis. (Fleury, [3])

---

1) Huber. Mémoir. s. l'influence de l'air dans la germination, 1801. S. 101.

2) de Saussure. Mémoir. d. l. Soc. phys. d. Genève, Bd. 6, 1833. S. 551.

3) Fleury. Ann. chim. et. phys. Bd. 4, 1865, S. 44.

Sachsse,[1] Wiesner,[2] Laskovsky,[3] Detmer[4]).

Für *Triticum* fand Rischavi[5]) bei 21° C. zehn Tage lang ein Steigen der $CO_2$,-Abgabe. Dann blieb die $CO_2$-Erzeugung fünf Tage lang auf dem Maximum, um schliesslich langsam zu sinken. *Vicia Faba* ergab dagenen andere Resultate. Hier wurde während zwanzig Tagen stets dieselbe $CO_2$-Menge pro 24 Stunden ausgeatmet. Wenn Rischavi den Verlauf der Atmungsintensität bei Vicia Faba auch während des allerersten Keimungsstadiums bestimmt hätte, so würde er zweifellos gefunden haben, dass die Atmung zunächst eine schwache ist und allmählich intensiver wird.

Borodin[6]) nahm bei *Lepidium* wahr, dass das Maximum der Atmung bei 19°—20° schon am Ende des dritten Tages erreicht war, mit einer stündlichen Intensität von 8 mgr. während bei 24° C. dieser Punkt schon am Beginn des dritten Tages auftrat, mit einer Intensität von 9 mgr pro Stunde.

2. Versuche, die sich auf die $O_2$-Aufnahme beziehen.

A. Mayer[7]) ist der erste, und soweit mir bekannt, der einzige, der eine eingehende Untersuchung anstellte über den Verlauf der $O_2$-Aufnahme während der Keimperiode.

Seine Versuche, die er mit *Weizen* nahm, dauerten, bei 10°—13.1° C., 21 Tage; die bei 22.5°—24.5° C., 10 Tage.

---

1) Sachsse, Keimung von Pisum sativ. Habilitationsschrift, Leipzig, 1872.

2) Wiesner. Landw. Versuchsstat. Bd. 15, 1872. S. 135.

3) Laskovsky. Landw. Versuchsstat. Bd. 17, 1874. S. 219.

4) Detmer. Keimung ölhaltiger Samen. Leipzig, 1875.

5) Rischavi. Landw. Versuchsstat. Bd. 19, 1876. S. 321.

6) Borodin. Just's Jahresber. 1875. S. 880. (Referat).

7) Mayer. A. Landw. Versuchsstat. Bd. 18, 1875. S. 245.

Er kommt zu folgendem Ergebnis; „Die Atmung eines ausgelegten Weizenkornes ist bei der niedrigen Temperatur von 11.8° C. im Durchsnitt die ersten Tage gleich Null zu setzen. Es findet eine Quellung und dann wohl eine teilweise Lösung der löslichen Samenbestandteile statt. Erst nach diesen Vorbereitungen ist der junge Organismus zur Sauerstoffaufnahme bereit, welche gerade zu der Zeit bemerkbar wird, wo der Embryo sich sichtbarlich zu vergrössern beginnt. Dann findet schon mit der allerersten Entwicklung des Keimlings eine rapide Steigerung der Atmungsintensität statt, die bald zu ihrem Maximum gelangt, Hier verharrt die Atmung einige Tage in gleicher Stärke; und diese Gleichheit lässt natürlich auf eine Gleichmässigkeit der Bedingungen schliessen." „Die Atmung würde vermutlich mit der Ausbildung der Pflanze kontinuierlich gestiegen sein. Der von mir beobachtete Abfall der Atmungskurve rührt also einzig und allein von der Erschöpfung des Samens an organischen Nährstoffen her."

Es besteht eine auffallende Übereinstimmung zwischen den Mayerschen Resultaten [1]) über die $O_2$-Aufnahme, und denjenigen von Rischavi [2]) über die $CO_2$-Ausscheidung. Beide Prozesse sollten also während der Keimung eine Maximumkurve zeigen.

### 3. Die Relation $\frac{CO_2}{O_2}$

Dass die Relation $\frac{CO_2}{O_2}$ sich während der Keimung ändern sollte, berichtete schon de Saussure. [3])

Oudemans und Rauwenhoff [4]) kamen mit verschiedenen Samen zu dem Ergebnis, dass die aufgenommene

1) Mayer., A. l. c.

2) Rischavi, l. c.

3) de Saussure, l. c.

4) Oudemans und Rauwenhoff. Linnaea. Bd. 14, 1859. S. 213.

$O_2$-Menge beim Beginn der Keimung etwas grösser war als die abgeschiedene $CO_2$-Menge, während sich später ein anderes Verhältnis geltend machte. Die Methode dieser Autoren war aber in mancher Hinsicht noch primitiv.

Genauere Daten über die Relation $\frac{CO_2}{O_2}$ gab erst Godlewski. [1]) Für Stärkesamen fand er das Volumen der ausgeschiedenen $CO_2$ in allen Keimstadien nahezu gleich dem des aufgenommenen Sauerstoffes. Bei der Keimung der *Erbse* war zum Beispiel das erste Volumen bald etwas grösser, bald kleiner als das zweite. Seine erste Wahrnehmung begann $42^3/_4$ Stunde nach dem Anfang des Versuchs.

Im Widerspruch hiermit standen die Ergebnisse von Bonnier und Mangin. [2])

Nach diesen Forschern, die u. a. auch mit *Pisum sativum* arbeiteten, sollte der Quotient $\frac{CO_2}{O_2}$ sich während der Keimungsperiode folgendermassen ändern;

„Pendant la période germinative, le rapport $\frac{CO_2}{O_2}$ du volume d'acide carbonique exhalé au volume d'oxygène absorbé est variable. Ce rapport, d'abord égal a l'unité, s'abaisse peu à peu pendant les premiers jours de germination; puis, après avoir atteint une valeur minima variable avec les espèces, ce rapport grandit pour acquérir à la fin de la germination la grandeur qu'il avait au début."

Für *Pisum sativum* war jedoch zu Beginn der Keimung $\frac{CO_2}{O_2}$ wesentlich kleiner als 1.

Es ist schwierig über diese weit auseinandergehenden

---

1) Godlewski. E. Jahrb. f. wissensch. Bot. Bd. 13, 1882. S. 491.

2) Bonnier und Mangin. Ann. d. sc. nat. 6e série. T. 18, 1884. S. 293.

Resultate von Godlewski und Bonnier und Mangin zu urteilen, wenn man keine Erfahrung von den durch diese Autoren gebrauchten Apparaten hat.

Godlewski benutzte zur $CO_2$ Absorption ein mit starker KOH-Lösung gefülltes Gläschen, welches im Atmungsgefässe sonderbarerweise über den Keimpflanzen hing. Zweifellos müssen sich also in seinen Versuchen die Pflanzen in einer $CO_2$-reichen Atmosphäre befunden haben.

Bonnier und Mangin entnahmen dem Atmungsgefäss Gasproben, ohne überzeugend darzulegen, dass bei dieser Manipulation das Gas sich wirklich gleichmässig im Gefäss verteilt hatte. Es ist also nicht unmöglich, dass ihre Gasanalysen nicht immer ein richtiges Bild von dem Gasgemisch des Apparates gaben.

### *b. Der Einfluss der Temperatur auf die Atmung.*

#### 1. Versuche, die sich auf die $CO_2$-Ausscheidung beziehen.

Einige Untersuchungen über Temperatureinfluss auf die Pflanzenatmung, welche mehr einen vorläufigen Charakter trugen, wurden von de Saussure [1]) und Garreau [2]) unternommen. Sie berichteten nur, dass der Atmungsprozess bei höherer Temperatur schneller verläuft als bei niedrigerer.

Die ersten systematischen Untersuchungen, welche das Studium der Beziehung zwischen Temperatur und Atmung bezweckten, sind von Felix de Fauconpret [3]) und datieren vom Jahre 1864.

Bei seinen Versuchen gebrauchte er abgeschnittene Zweige und ganze Pflanzen. Er kam zu der Schlussfolgerung, dass

---

1) de Saussure, l. c.

2) Garreau. Ann. d. sc. nat. 1851. T, 16. S. 271.

3) de Fauconpret. F. Recherches sur la respiration des végétaux. Compt. rend. 1864.

die Atmungsintensität regelmässig mit der Temperaturerhöhung stieg.

Laskovski [1]) kam mit keimenden Kürbissamen zu dem Ergebnis, dass die $CO_2$-Produktion bei jedem Steigen oder Sinken der Temperatur auch entsprechend ein Auf- und Niedergehen zeigte.

Seine Wahrnehmungen beschränkten sich nur auf einige Temperaturen (16°, 17° und 25° C.)

Borodin [2]) fand, wie oben schon erwähnt, für Kressesamen, dass das Maximum der $CO_2$-Ausscheidung bei höheren Temperaturen eher auftrat als bei tieferen. Aus seinen Ergebnissen glaubte er ableiten zu können, dass die $CO_2$-Bildung der Temperatur proportional wäre.

Detmer [3]) berichtete von einer einzigen Wahrnehmung bei keimenden *Rapssamen*, woraus hervorgehen sollte, dass die $CO_2$-Abgabe pro 24 Stunden bei 22° C. bedeutend grösser war als bei 18° C.

Ganz in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Laskovski und Borodin waren diejenigen von Rischavi [4]) mit *Vicia Faba* Keimlingen und später mit *Weizen*. [5]) Auch er war der Ansicht, dass die $CO_2$-Ausscheidung proportional mit der Temperatur steigen würde.

Im Gegensatz zu dieser Auffassung standen die Ausführungen Pedersens [6]) mit *Gerstensamen*.

Er kam nämlich zu folgendem Schluss:

„La quantité d'acide carbonique qui se dégage des jeunes plantes germantes de l'orge, croît avec la temperature dans

---

[1]) Laskovski. Landw. Versuchsstat. Bd. 17, 1874. S. 219.

[2]) Borodin. Just's Jahresber. 1875. S. 880.

[3]) Detmer. Phys. chem. Unters. über die Keimung etc. Leipzig, 1875. S. 23.

[4]) Rischavi. Landw. Versuchsstat. Bd. 19, 1876. S. 321.

[5]) „ Just's Jahresber. 1877, S. 721.

[6]) Pedersen. Meddelelsen fra Carlsberg Laboratoriet. Bd. 1, 1878. S. 44.

les limites de mes expériences de 0° à 33°.5, mais non proportionnellement à la temperature. Aux temperatures basses, le dégagement d'acide carbonique croît très lentement, mais arrivé à 15°—18°, il augmente très rapidement".

Nachdem Claussen[1]) für verschiedene Samen feststellte, dass es keine Proportionalität zwischen Temperatur und $CO_2$-Bildung gäbe, und so die Richtigkeit der Ergebnisse von Pedersen bestätigte, war es nun die Frage nach der Lage des Optimums bei der Atmung, welcher die Forscher jetzt ihre ganze Aufmerksamkeit schenkten.

Claussen fand für Keimlinge von *Lupinus luteus* und *Triticum vulgare* ein ausgesprochenes Optimum bei 40° C. Auch Ziegenbein[2]) meinte, dass das Optimum bei der Atmung bei 40° C. gesucht werden müsste. Um zu beweisen, dass das Sinken der $CO_2$-Produktion, das zwischen 40°- und 45° C. auftrat, kein Absterbungsprozess ist, beruft Claussen sich auf die Tatsache, dass die Pflanzen sogar nach längerem Experimentieren bei 45° C. keine Störungen der Lebensfunktionen zeigten, weil sie nach diesen Versuchen schon innerhalb einiger Stunden geotropische Krümmungen erkennen liessen.

Sehr mit Recht haben Pfeffer[3]) und sein Schüler Chudiakow[4]) sich gegen diese Beweisführung ausgesprochen und gemeint. dass das Sinken bei einer höheren Temperatur durch partielles Absterben der Versuchsobjekte verursacht wurde.

Obwohl Pfeffer keine experimentellen Belege für seine Meinung hatte, sprach er sich über das Optimum bei der Atmung sehr positiv aus. Seiner Ansicht nach würde „innerhalb der günstigen und auf die Dauer zulässigen Temperaturen, die Atmung nicht wie Wachsen, Kohlensäure zer-

[1]) Claussen. Landw. Jahrb. Bd. 19, 1890. S. 893.
[2]) Ziegenbein. Jahrb. f. wissensch. Bot, Bd. 25, 1893. S. 599.
[3]) Pfeffer. W. Pflanzenphysiologie. Bd. 1, 1897. S. 572.
[4]) Chudiakow. N. Landw. Jahrb. Bd. 23, 1894. S. 349.

setzung und auch verschiedene andere Stoffwechselprozesse ein ausgesprochenes Optimum aufweisen".

Auch Bonnier und Mangin[1]) kamen in Folge ihrer Untersuchungen mit abgeschnittenen Blättern zum selben Schluss, dass für die Atmung kein Optimum bestehen würde.

Erst die Kuyperschen Untersuchungen brachten eine vollständige Wendung in der Frage des Temperatureinflusses auf die $CO_2$-Abgabe bei der Atmung.

Nachdem Blackman[3]), sich stützend auf Beobachtungen an Blättern von *Prunus Laurocerasus,* die Vermutung geäussert hatte, dass wahrscheinlich das Optimum der Atmung kein fester Punkt wäre, sondern sich mit der Versuchsdauer verschieben würde, war Kuyper der erste, der die Richtigkeit hiervon experimentell nachwies.

Die auseinanderlaufenden Resultate der älteren Autoren waren hauptsächlich die Folge des Fehlers, den sie begingen, indem sie den Zeitfaktor vernachlässigten, also nicht daran dachten, dass bei höheren Temperaturen die Atmung in aufeinanderfolgenden Stunden beträchtlich sinken könnte.

Kuypers Untersuchungen führten zu folgendem Ergebnis:

„Wenn man die Atmung bei verschiedenen konstanten Temperaturen während 6 aufeinanderfolgender Stunden bestimmt, findet man für alle Objekte für Temperaturen bis auf 10° immer die gleiche Quantität abgegebener $CO_2$; die Atmung ist also konstant; für eine höhere Temperatur bis 20°. ergibt sich eine Steigung der Intensität; darauf folgt eine Periode während welcher die $CO_2$-Abgabe schwankt. Für Temperaturen über 40° ist das Ergebnis immer dasselbe: ein regelmässiger Rückgang, der in seiner graphischen Darlegung eine ungefähr logarithmische Kurve aufweist".

[1]) Bonnier und Mangin. Ann. Sc. nat. Bd. 19. S. 254.
[2]) Kuyper, J. Recueil des trav. botan. néerland. Vol. 7, 1910. S. 131.
[3]) Blackman, F. F. Annals of Botany. Vol. 19, 1905. S. 281.

Später fand Kuyper [1]), dass tropische Pflanzen höhere Temperaturen länger ertragen können, ehe der Abfall der Atmung eintritt.

2. Versuche, die sich auf die $O_2$-Aufnahme beziehen.

Über den Temperatureinfluss auf die $O_2$-Aufnahme bei der Atmung fand ich nur eine Untersuchung von A. Mayer,[2]) bei der keimende Samen von *Triticum vulgare* als Versuchsobjekte dienten.

Er kommt zum Ergebnis, dass es eine annähernde Proportionalität gibt zwischen Sauerstoffaufnahme und Temperatur.

In seinem Lehrbuch der Agrikulturchemie sagt Mayer [3]), im Anschluss an Kreussler [4]), dass „die Sauerstoffaufnahme durch höhere Temperaturen lange nicht in dem Masse begünstigt wird als die $CO_2$-Abgabe."

Später wird diese Mitteilung auch von Jauerka [5]) zitiert. Kreussler berichtet nämlich das Folgende:

„Die sehr abweichenden Ergebnisse R. Heinrichs (Grundlagen zur Beurteilung der Ackerkrume, Wismar 1882. S. 153.), welche für vollbeblätterte *Haferpflanzen* ein schon bei 25° eintretendes Optimum und darüber hinaus einen ziemlich rapiden Nachlass der (durch den Sauerstoffverbrauch gemessenen) Atmungsintensität nachweisen, sind wohl durch Abweichungen in der Versuchsanstellung erklärbar."

Scheinbar hat Kreussler sich beim Niederschreiben geirrt, da Heinrich keine $O_2$-Aufnahme, sondern nur die $CO_2$-Abgabe gemessen hat.

[1]) Kuyper. J. Ann. du Jardin. Bot. de Buitenzorg. 2e Série. V. 9, 1911. S. 45.

[2]) Mayer. A. Landw. Versuchsstat. Bd. 19, 1876. S. 340.

[3]) „ „ Lehrb. d. Agrikulturchemie. Bd. 1, 1901. S. 112.

[4]) Kreussler. Landw. Jahrb. Bd. 16, 1887. S. 735.

[5]) Jauerka. Beiträge z. Biolog. der Pflanzen. Bd. 11, 1912. S. 245.

### 3. Die Relation $\frac{CO_2}{O_2}$.

Von allen Untersuchungen, die sich mit dem Temperatureinflusse auf den Quotienten $\frac{CO_2}{O_2}$ befassten, gebrauchte allein Pourievitch [1]) Keimlinge verschiedener Entwicklungsstadien.

Man war allgemein der Ansicht von Bonnier und Mangin, [2]) die mit Blüten und Rhizomen arbeiteten, dass die Temperatur keinen Einfluss auf diese Relation ausüben würde.

Déhérain und Maquenne [3]) fanden jedoch für Blätter, dass dieser Quotient grösser wurde mit steigender Temperatur.

Pourievitch experimentierte mit verschiedenen Samenarten. Seine höchsten Beobachtungen liegen bei 37.° C, die niedrigsten bei 1°—2° C. Das Resultat seiner Versuche war, dass mit Temperatursteigung Zunahme der Grösse des Quotienten stattfand, und dass dieser Temperatureinfluss sich bei jüngeren Exemplaren stärker ausdrückte.

## B. Die anaerobe Atmung.

### *a. Der Verlauf der anaeroben Atmung bei einer nicht schädlichen Temperatur.*

Lechartier und Bellamy [4]) fanden, dass gequollene Samen der *Gerste* und *Rosskastanie* bei Sauerstoffabschluss Monate lang $CO_2$ aushauchen und dabei ihre Keimfähigkeit nur sehr langsam verlieren.

---

1) Pourievitch. K. Ann. d. Sc. nat. 9e Série. T. 1. S. 1, 1905.

2) Bonnier und Mangin. Ann. d. Sc. nat. 6e Série. T. 17, 1884. S. 359.

3) Déhérain und Macquenne. Ann. agronomiques. Bd. 12, 1886. S. 145.

4) Lechartier und Bellamy. Compt. rend. T. 79, 1874. S. 949 u. 1006.

Brefeld[1]) fand, dass *Gerste-* und *Weizensamen* in ihrem ersten Keimungsstadium in eine sauerstofffreie Atmosphäre gebracht, 5—6 Wochen lang $CO_2$ bilden und dass Erbsen-samen dies sogar 3 Monate lang entwickeln.

Erst Godlewski und Polzeniusz[2]) gaben eine ausführliche Untersuchung über die $CO_2$-Ausscheidung bei der anaeroben Atmung von *Erbsenkeimlingen*. Sie fanden u.a., dass die anaerobe Atmung der in sauerstofffreiem Wasser liegenden Samen mehrere Wochen lang dauert, „wobei die Kohlensäurebildung zunächst schwach ist, dann eine Beschleunigung erfährt, am dritten oder vierten Tage ein Maximum erreicht, auf demselben sich eine Zeit lang erhält (etwa 1 bis 2 Wochen oder mehr) und dann ganz allmählich herabsinkt, um endlich gänzlich aufzuhören."

Godlewski und Polzeniusz gebrauchten zu ihren Untersuchungen mit Sublimat sterilisierte Samen und bestimmten die gebildete $CO_2$ volumetrisch. Über die Fehler, welche dieser Methode anhaften, siehe Seite 133.

*b. Der Einfluss der Temperatur auf die anaerobe Atmung.*

Dass mit Temperaturzunahme die $CO_2$-Produktion bei der anaeroben Atmung zunimmt, fanden bereits Lechartier und Bellamy[3]), Böhm[4]) und Moissan[5]).

Amm[6]) ist der erste, der eine besondere Untersuchung hierüber anstelltte. Die Beobachtungen wurden von 0°-55° C,

---

1) Brefeld. Landw. Jahrb. Bd. 5, 1876. S. 281.

2) Godlewski und Polzeniusz. Bull. intern. d. l'acad. d. sc. de Cracovie 1901. S. 227.

3) Lechartier und Bellamy. Compt. rend. T. 69, 1869. S. 356.

4) Böhm. Sitzungsber. der K. Akad. d. Wiss. Wien. Bd. 67, 1873. S. 219.

5) Moissan. Ann. d. Sc. nat. 6e Série. T. 7. S. 333. 1878.

6) Amm. A. Jahrb. f. Wiss. Bot. Bd. 25, 1893. S. 1.

gemacht, um je 5° steigend. Meistens gebrauchte er dieselben Objekte nur 3 bis 4 Stunden nach einander. Besonders bei höheren Temperaturen wurden die Versuche kurz genommen, da bei 35° C. bald eine bedeutende Abnahme der $CO_2$-Ausscheidung auftrat. Um die Mittelwerte der $CO_2$-Abgabe bei höheren Temperaturen zu erhalten, berechnete Amm diese aus den Zahlen mehrerer kurzen Beobachtungen. Die so gefundenen Werte zeigten nach ihm ein ausgesprochenes Optimum für die anaerobe Atmung bei 40° C. an.

Im allgemeinen findet er, dass mit Temperaturerhöhung, die Grösse des anaeroben Prozesses auch zunimmt, welcher Zuwachs in keinem Verhältnis steht mit der Temperaturerhöhung.

Amm gebraucht zu seinen Versuchen den Pfefferschen [1]) Apparat. Seine Thermostateinrichtung war sehr unvollkommen. Das Konstanthalten der Temperatur des Wassers in seinem Thermostaten war „leicht bei einiger Sorgfalt und Übung durch Hinzusetzen warmen resp. kalten Wassers, oder kleiner Eisstücke", zu erreichen! Bei 35° C. und höher musste eine kleine Gasflamme unter das Gefäss gebracht werden.

Wie lange die Vorerwärmung dauerte, bevor die ersten $CO_2$-Bestimmungen begannen, wird nicht angegeben.

Bei nicht zu hohen Temperaturen war ein Verweilen von 5-7 Stunden im Wasserstoffstrom für die Pflanze nicht schädlich. Zum Beweis hierfür führt Amm die Tatsache an, dass die Pflanzen sich nach dem Experiment normal weiter entwickelten und nach einigen Stunden auch wieder geotropisch reagierten.

Das Nachlassen der $CO_2$-Produktion, das bei höheren Temperaturen deutlich auftrat, meinte er durch pathologi-

---

1) Pfeffer. W. Unters. aus d. bot. Institut zu Tübingen. Bd. 1, 1881—85. S. 637.

sche Erscheinungen erklären zu müssen, welche durch ein zu langes Verweilen in einem $O_2$-freien Medium auftraten. Von der Möglichkeit, dass die höheren Temperaturen als solche auch schädigend wirken könnten, sagt Amm nichts.

Vollständig zu verwerfen ist die Methode, womit Amm den Quotienten $\frac{J}{N}$ bestimmt (J = der $CO_2$-Abgabe bei anaerober Atmung, N = der $CO_2$-Abgabe bei normaler Atmung).

Diesen Quotienten erhält er in folgender Weise:

Er nimmt die Ergebnisse seiner Versuche bei anaerober Atmung, und dividiert diese durch die Ergebnisse, welche Claussen[1]) vier Jahre früher mit denselben Pflanzen bei normaler Atmung erhielt. Es ist so gut wie ausgeschlossen, dass in beiden Fällen die verschiedenen Umstände derart übereinstimmend sein konnten, um den Quotienten $\frac{I}{N}$ auf diese Weise genau zu bestimmen.

Im Jahre 1894 publizierte Chudiakow[2]) eine ausführliche Untersuchung über den Temperatureinfluss auf die anaerobe Atmung, wobei er, was die $CO_2$-Bestimmung betrifft, zum selben Resultate kam wie Amm. Für die $CO_2$-Bestimmung wurde nicht nur die Barytmethode (conform Pfeffer) gebraucht, sondern auch eine gasometrische. Obwohl diese letzte Methode mehrere Unvollkommenheiten besass (durch Chudiakow ausführlich angegeben), waren die Ergebnisse, die er mit beiden Arbeitsmethoden erhielt, einander vollkommen gleich.

Bedeutend besser war jedoch bei diesen Untersuchungen die Wärmeregulation.

In der ersten Versuchsreihe wurde mit denselben Keimlingen von 0°—50° C. jedesmal um 10° steigend, zwei Wahrnehmungen, die je eine halbe Stunde dauerten, ge-

---

1) Claussen, l. c.

2) Chudiakow. N. Landw. Jahrb. Bd. 23, 1884. S. 333.

macht. Für alle Objekte, worunter auch Pisum sativum war, fand Chudiakow, dass die Intensität des Prozesses mit der Temperatur stieg, und dass dieses Steigen nicht der Temperatur proportional war, sondern in stärkerem Verhältnisse, „sodass die Kurven für die intramolekulare Atmung mit ihrer Konvexität der Abscisse der Temperatur zugewandt erscheinen".

Da bei diesen Beobachtungen die Temperatur von 40° C. erreicht wurde, nachdem die Pflanzen schon 12 Stunden lang sich in einem sauerstofffreien Raum befanden, meinte Chudiakow, dass man ein Optimum bei dieser Temperatur nicht annehmen darf, weil $O_2$-Mangel schon einen schädlichen Einfluss gehabt haben könnte. Doch behauptet er, dass das Optimum, wenn es tatsächlich existierte, nicht weit unter der tödlichen Temperatur läge.

Von grossem Interesse sind die Versuche, wobei die Beobachtungen in aufeinanderfolgenden gleichen Zeiten solange fortgesetzt wurden, bis ein Sinken der $CO_2$-Abgabe auftrat. Bei 20° C. fand er für Keimpflanzen von Pisum sativum (Wurzellänge 2—2,5 cm.) ein Konstantbleiben der $CO_2$-Abgabe während 9 aufeinanderfolgenden Stunden, wonach eine langsame Senkung eintrat. Bei dieser Temperatur würde der Prozess bei gequollenen Samen 12 Stunden lang konstant bleiben. Auch bei 30° C. blieb die $CO_2$-Ausscheidung solcher Samen ebensolange konstant, während Keimlinge mit einer Wurzellänge von 2—2.5 cm. bereits nach 6 Stunden ein Sinken zeigten.

Diese Erscheinung, die auch bei den anderen Samen festgestellt wurde, erklärt Chudiakow folgendermassen:

Entweder ist die Menge des zu verarbeitenden Materials, bei höheren Temperaturen eher aufgebraucht, oder die auftretenden Zwischenprodukte häufen sich auf und verursachen ein Absterben der Objekte. Die Frage, ob das Sinken der $CO_2$-Ausscheidung das Ergebnis des Einflusses

beider Faktoren, oder des einen von beiden ist, muss er unbeantwortet lassen.

Auch Godlewski und Polzeniusz [1]) kamen zum Schluss, dass bei einer höheren Temperatur die anaerobe Atmung sich weit energischer vollzieht aber entsprechend kürzer dauert als bei einer niedrigen.

Die ganze Menge des von den Samen durch die „intramoleculare" Atmung gebildeten Alkohols und der Kohlensäure soll nach ihnen von der Temperatur unabhängig sein.

[1]) Godlewski und Polzeniusz, l. c.

# FÜNFTER ABSCHNITT.

## Experimenteller Teil.

---

### A. Normale Atmung.

#### a. *Der Atmungsverlauf während des Keimens.*

1. Die $O_2$-Aufnahme und $CO_2$-Ausscheidung.

Will man den Einfluss eines äusseren Faktors auf die Atmung keimender Samen studieren, so ist es unbedingt notwendig, genau zu wissen, wie während des Keimens dieser Atmungsprozess normalerweise verläuft.

Tabelle II. gibt das Resultat einer Beobachtung bei 20° C., wobei ausgegangen wurde von 50 trocknen Erbsen. Diese befanden sich im Apparat auf feuchter Watte.

Die erste Beobachtung begann 4 Stunden nachdem der Versuch angesetzt worden war und dauerte 5 Tage.

# TABELLE II.

| Datum. | Zeit. | Std. | ccm. $O_2$ aufgen. | ccm. $CO_2$ ausgesch. | $\frac{CO_2}{O_2}$ | Temp. | Bar. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| März 8. | 12-4 Nachm. | 4. | — | — | — | 20.0° C. | 755 | Vorerwärmung. |
| | 4-6 | 2. | 2.2 | 5.4 | 2.45 | „ | | |
| | 6-8 | 2. | 2.6 | 6.2 | 2.38 | „ | | |
| | $8^{15}$-$10^{15}$ | 2. | 3.8 | 8.4 | 2.21 | „ | | |
| „ 8/9. | $10^{15}$ Nachm.-8 Vorm. | 9¾ | — | — | — | „ | | Samen vollständig gequollen. |
| „ 9. | 8-10 Vorm. | 2. | 5.5 | 9. | 1.63 | „ | 761 | |
| | 10-12 | 2. | 5.6 | 9. | 1.60 | „ | | |
| | $12^{15}$-$2^{15}$ Nachm. | 2. | 5.6 | 9.4 | 1.67 | „ | | |
| | $2^{15}$-$4^{15}$ | 2. | 6.4 | 10.2 | 1.59 | „ | | |
| | $4^{30}$-$6^{30}$ | 2. | 8.6 | 9.6 | 1.11 | „ | | |
| | $6^{30}$-$8^{30}$ | 2. | 9. | 9.8 | 1.08 | „ | | |
| „ 9/10. | $8^{30}$ Nachm.-8 Vorm. | 11½ | — | — | — | „ | | Wurzellänge ca. ½ cm. |
| „ 10. | 8-10 Vorm. | 2. | 13.1 | 13.2 | 1.00 | „ | 759 | |
| | 10-12 | 2. | 13.3 | 15.6 | 1.17 | „ | | |
| | $12^{15}$-$2^{15}$ Nachm. | 2. | 14.6 | 17.2 | 1.11 | „ | | |
| | $2^{15}$-$4^{15}$ | 2. | 15.5 | 18. | 1.16 | „ | | |
| | $4^{30}$-$6^{30}$ | 2. | 16.4 | 18.4 | 1.12 | „ | | |
| | $6^{30}$-$8^{30}$ | 2. | 16.2 | 18.6 | 1.14 | „ | | |
| „ 10/11. | $8^{30}$ Nachm.-8 Vorm. | 11½ | — | — | — | „ | | Wurzellänge ca. 1 cm. |
| „ 11. | 8-10 Vorm. | 2. | 19.3 | 19.4 | 1.00 | „ | 764 | |
| | 10-12 | 2. | 19.4 | 20.2 | 1.04 | „ | | |
| | $12^{15}$-$2^{15}$ Nachm. | 2. | 18. | 18.6 | 1.03 | „ | | |
| | $2^{15}$-$4^{15}$ | 2. | 19. | 19.2 | 1.01 | „ | | |
| | $4^{30}$-$6^{30}$ | 2. | 19.1 | 22.2 | 1.11 | „ | | |
| | $6^{30}$-$8^{30}$ | 2. | 19.6 | 22.4 | 1.14 | „ | | |
| „ 11/12. | $8^{30}$ Nachm.-8 Vorm. | 11½ | — | — | — | „ | | Wurzellänge ca. 2½-3 cm. |
| „ 12. | 8-10 Vorm. | 2. | 22. | 25. | 1.13 | „ | 761 | |
| | 10-12 | 2. | 23.2 | 26.2 | 1.12 | „ | | |
| | $12^{15}$-$2^{15}$ Nachm. | 2. | 20.1 | 22. | 1.09 | „ | | |
| | $2^{15}$-$4^{15}$ | 2. | 17.1 | 18. | 1.05 | „ | | |
| | $4^{30}$-$6^{30}$ | 2. | 17.1 | 18. | 1.05 | „ | | |
| | $6^{30}$-$8^{30}$ | 2. | 17.6 | 20. | 1.13 | „ | | |
| „ 12/13. | $8^{30}$ Nachm.-8 Vorm. | 11½ | — | — | — | „ | | Wurzellänge 4-5 cm. |
| „ 13. | 8-10 Vorm. | 2. | 17.3 | 19. | 1.10 | „ | 767 | |
| | 10-12 | 2. | 16. | 18. | 1.12 | „ | | |
| | $12^{15}$-$2^{15}$ | 2. | 16.8 | 18. | 1.07 | „ | | |
| | $2^{15}$-$4^{15}$ | 2. | 17.3 | 18. | 1.04 | „ | | |
| | $4^{30}$-$6^{30}$ | 2. | 16.7 | 16.9 | 1.01 | „ | | Wurzellänge 6 cm. |

Tabelle III zeigt den Verlauf der Atmung bei 25° C. Die Erbsen wurden in derselben Weise behandelt.

Die Beobachtungen begannen nach 16 Stunden und dauerten 6 Tage.

TABELLE III.

| Datum. | Zeit. | Std. | ccm. $O_2$ aufgen. | ccm. $CO_2$ ausgesch. | $\frac{CO_2}{O_2}$ | Temp. | Bar. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| April 29/30. | 6 Nachm.-10 Vorm. | 16. | — | — | — | 25.0° C. | — | Die meisten Samen vollständig gequollen. |
| „ 30. | 10 Vorm.-1 Nachm. | 3. | 4.7 | 10.5 | 2.23 | „ | 764 | |
| | 1-4 | 3. | 5.8 | 12.1 | 2.08 | „ | | |
| | $4^{15}$-$7^{15}$ | 3. | 8.6 | 14. | 1.63 | „ | | |
| April 30.-Mai 1. | $7^{15}$ Nachm.-8 Vorm. | $11\frac{3}{4}$ | — | — | — | „ | | Alle Samen vollständig gequollen. |
| Mai 1. | 8-11 Vorm. | 3. | 19. | 22.8 | 1.20 | „ | 766 | 10 Würzelchen schon durch die Samenhaut gebrochen. |
| | 11 Vorm.-2 Nachm. | 3. | 22.6 | 25.1 | 1.12 | „ | | |
| | $2^{15}$-$5^{15}$ | 3. | 25.5 | 26. | 1.02 | „ | | |
| | $5^{15}$-$8^{15}$ | 3. | 28.1 | 28.9 | 1.02 | „ | | |
| „ 1-2. | $8^{15}$ Nachm.-8 Vorm. | $11\frac{3}{4}$ | — | — | — | „ | | Wurzellänge 1-2 cm. |
| „ 2. | 8-11 Vorm. | 3. | 33.2 | 35.3 | 1.06 | „ | 770 | |
| | 11 Vorm.-2 Nachm. | 3. | 35.8 | 36.2 | 1.01 | „ | | |
| | $2^{15}$-$5^{15}$ | 3. | 34.5 | 34.6 | 1.00 | „ | | |
| | $5^{15}$-$8^{15}$ | 3. | 33.1 | 33.8 | 1.02 | „ | | |
| „ 2-3. | $8^{15}$ Nachm.-8 Vorm. | $11\frac{3}{4}$ | — | — | — | „ | | Wurzellänge 2-3 cm. |
| „ 3. | 8-11 Vorm. | 3. | 33.2 | 33.8 | 1.01 | „ | 770 | |
| | 11 Vorm.-2 Nachm. | 3. | 33.5 | 33.8 | 1.00 | „ | | |
| | $2^{15}$-$5^{15}$ | 3. | 33.6 | 34.8 | 1.03 | „ | | |
| | $5^{15}$-$8^{15}$ | 3. | 34.1 | 34.5 | 1.01 | „ | | |
| „ 3-4. | $8^{15}$ Nachm.-8 Vorm. | $11\frac{3}{4}$ | — | — | — | „ | | Wurzellänge $3\frac{1}{2}$-$4\frac{1}{2}$ cm. |
| „ 4. | 8-11 Vorm. | 3. | 29.3 | 30.2 | 1.03 | „ | 765 | |
| | 11 Vorm.-2 Nachm. | 3. | 29.6 | 30.2 | 1.01 | „ | | |
| | $2^{15}$-$5^{15}$ | 3. | 29.2 | 30.6 | 1.04 | „ | | |
| „ 4-5. | $5^{15}$ Nachm.-8 Vorm. | $14\frac{3}{4}$ | — | — | — | „ | | Wurzellänge 5-6 cm. |
| „ 5. | 8-11 Vorm. | 3. | 26.2 | 27.2 | 1.04 | „ | | |
| | 11 Vorm.-2 Nachm. | 3. | 26.5 | 27.5 | 1.03 | „ | | Wurzellänge $6\frac{1}{2}$-$7\frac{1}{2}$ cm. |

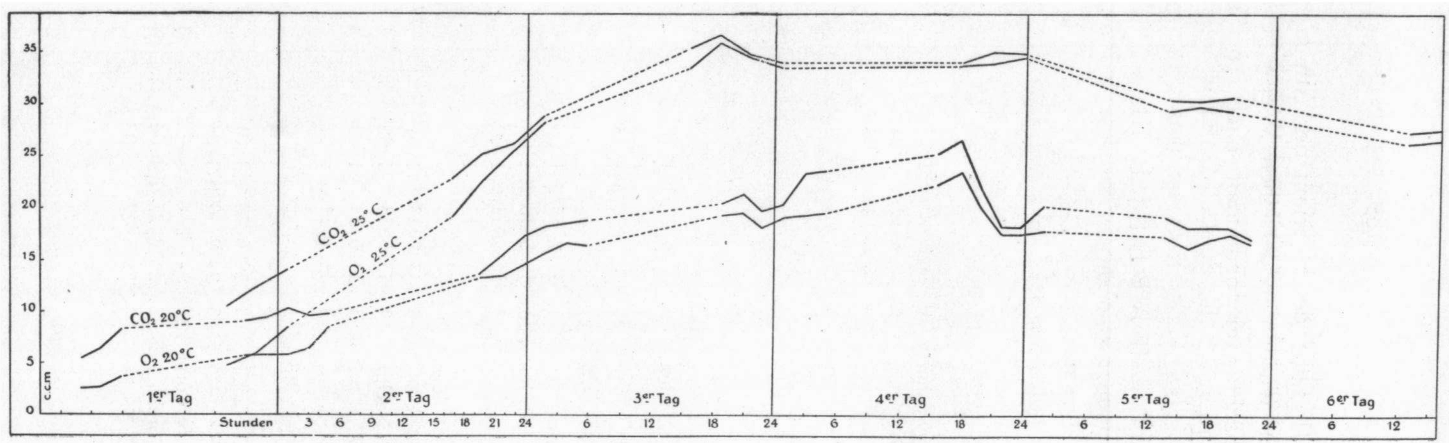

c.c.m
35
30
25
20
15
10
5
0
$CO_2$ 20°C
$O_2$ 20°C
$CO_2$ 25°C
$O_2$ 25°C
1er Tag
2er Tag
3er Tag
4er Tag
5er Tag
6er Tag
Stunden
3
6
9
12
15
18
21
24
6
12
18
24
6
12
18
24
6
12
18
24
6
12

Fig. 11.

Aus der graphischen Darstellung (Fig. 11) ist nun sogleich abzuleiten, dass die Atmung in beiden Fällen, eine Kurve mit einem Maximum zeigt.

Während bei 20° C, dieses Maximum ungefähr in der Mitte des vierten Tages liegt, ist dieser Punkt bei 25° C. schon am dritten Tage erreicht.

Hiermit stimmen die Ergebnisse Borodins (Seite 151) vollständig überein.

Weiter ergab sich, dass bei 25° C. bereits innerhalb 24 Stunden, sowohl die $CO_2$-Abgabe als die $O_2$-Aufnahme einen grösseren Wert erreicht haben als bei 20° C., und dass bei 25° C. der gesamte Prozess mit grösserer Intensität verläuft als bei 20° C.

Bemerkenswert ist, dass sowohl bei 25° als bei 20° C., nach dem Erreichen des Maximums, die Atmung Schwankungen aufweist.

Von einem bestimmten Punkt an gehen sowohl die $CO_2$-Abgabe als auch die $O_2$-Aufnahme ziemlich parallel. Bei 20° und 25° C. kann also nicht gesagt werden, dass der eine Prozess stärker von der Temperatur beeinflusst wird als der andere, wie in der zweiten Hypothese von Kuyper vermutet wird (Seite 110).

Betrachten wir die Darlegungen Kuypers zu seiner 1[ten] Hypothese, wobei vorausgesetzt wird, dass die Schwankungen wahrscheinlich durch verstärktes Wachstum einerseits und Beschädigung des Atmungsprozesses durch die Temperatur andrerseits, hervorgerufen werden sollten.

Bei 20° C. meint Kuyper annehmen zu müssen, dass am vierten Keimungstag die Atmung in den ersten fünf Stunden immer eine steigende ist. Seine längeren Versuche bei 20° und 21° C. ergaben alle eine Kurve mit einem Maximum. Da ein schädlicher Einfluss des Apparates nicht festgestellt werden konnte, so meint Kuyper, dass dieser Verlauf vielleicht zu erklären wäre mit der Hypothese „dass nämlich die Erscheinung zurückzuführen sei auf einen

bestimmten Gang der Atmung am vierten Keimungstage, und dass folglich die Atmungsintensität abhängig ist vom Stadium der Keimung". Spezielle Versuche über den Zusammenhang zwischen Keimungsstadium und Atmungsintensität hat Kuyper jedoch nicht angestellt.

In seinem Versuch CXLIII, der 24 Stunden dauerte, stieg die Atmung in den ersten 5 Stunden, um dann langsam bis zum Ende der 24ten Stunde zu fallen.

Gerade dieser letzte Versuch, der eine grosse Übereinstimmung mit dem Verlauf der Atmung in Fig. 11 am vierten Tage zeigt, spricht gegen die Annahme, dass hier die Atmung eine steigende sein sollte.

Aus unseren Beobachtungen geht hervor, dass die Atmung bei 20° C. am 4ten Tage ein Maximum erreicht, um dann mit Schwankungen langsam zu sinken. Man kann also bei kurzen Wahrnehmungen für die Atmung von 4 Tage alten Keimlingen (Temperatur 20° C.) einen Verlauf finden, der dreierlei Erscheinungen aufweisen kann:

Die Atmungskurve kann eine steigende sein, sie kann ein Maximum zeigen oder sie ist eine fallende mit Schwankungen.

Absolut zu vergleichen sind die Keimlinge von Kuyper nicht mit denen vom 4ten Tage in unserm Versuch bei 20° C, denn die Vorperiode seiner Pflanzen war eine andere, nicht nur was die Temperatur anbetrifft, sondern auch in anderer Hinsicht. Wahrscheinlich waren seine Pflanzen am Beginn des 4. Tages etwas weiter entwickelt als die unsrigen, wodurch in seinem Versuch CXLIII dass Fallen auch eher auftrat.

Kuyper stellt nun den schwankenden Verlauf, den er bei 25° und 30° C. fand, im schroffen Gegensatz zu dem Atmungsverlauf bei 20° C., der nach ihm ein steigender ist.

Er kommt zu der Auffassung, dass schon bei 25° C. ein schädlicher Einfluss der Temperatur auf die Atmung auf-

treten muss; während dieselbe Temperatur zugleich ein verstärktes Wachstum verursacht.

Wie sich aus der Fig. 11 ergibt, ist jedoch dieser schwankende Verlauf nicht eine Erscheinung, die erst bei 25° C. auftritt. Sie kommt auch bei 20° C. vor, und zwar nicht nur am 4ten Keimungstag, sondern auch am 5ten und wahrscheinlich bleiben die Schwankungen auch weiter erhalten.

Es ist nun nicht auf der Hand liegend, um auch bei 20° C. eine schädliche Einwirkung der Temperatur anzunehmen, dem gegenüber ein verstärktes Wachstum stehen sollte.

Durch die Tatsache, dass die Schwankungen gleichfalls bei 20° C. vorkommen, wird es schwierig, die erste Hypothese Kuypers zur Erklärung dieser Erscheinung zu benutzen. Kuyper geht von der Annahme aus, dass im allgemeinen starkes Wachstum eine erhöhte Atmungsintensität mit sich bringt.

Gewiss soll innerhalb eines bestimmten Temperaturintervalles diese Beziehung vorkommen, aber man darf nicht vergessen, dass die den beiden Prozessen abgrenzenden Bedingungen ganz verschiedene sind. So konnte A. Mayer [1]) bei keimendem *Weizen* feststellen, dass bis 34° C. die Atmung stieg und dass bei dieser Temperatur die Atmungsintensität auch grösser war als bei 23° C. Dagegen war das Wachstum dieser Pflanzen nicht am stärksten bei 34° C., sondern bei 23° C.

Die Relation zwischen Wachstumsgeschwindigkeit und Atmungsintensität muss man sich also nicht so einfach vorstellen.

Aus dem Verlauf der Atmung bei 20° und 25° C., wie dies mehrere Tage lang wahrgenommen wurde, und aus der ganz normalen Entwicklung, welche die Keimlinge dabei

---

1) Mayer. A. Landw. Versuchsstat. Bd. 19, 1876. S. 340.

zeigten, konnte aus unsrem Versuch nicht gefolgert werden, dass bei diesen Temperaturen an eine schädliche Wirkung zu denken sei. Aus den gefundenen Zahlen ergibt sich, dass nachdem die Atmung bei der Keimung ein gewisses Maximum erreicht hat, der weitere Verlauf ein schwankender ist.

Die Versuche Rischavis, [1]) wobei nur die $CO_2$-Abgabe gemessen wurde, stimmen bis zum Maximum mit den unsrigen überein. Dasselbe gilt von den Mayerschen [2]) Untersuchungen über die $O_2$-Aufnahme. Dass diese Autoren nach dem Maximum jedoch keine Schwankungen fanden, geht daraus hervor, dass die Beobachtungen in langen Zwischenpausen genommen wurden.

Es ist sicher der Mühe wert, für diesen eigentümlichen schwankenden Verlauf eine Erklärung zu finden. Aber dies wäre erst dann möglich, wenn man von dem sehr verwickelten Keimungsprozess eine feinere Analyse machen würde.

Sehen wir von einer Erklärung dieser Schwankungen ab, so erhebt sich noch die Frage, was das Fallen nach dem Erreichen des Maximums bedeutet. Sollte sie in der freien Natur auch vorkommen bei Samen die im Boden keimen, und wie weit geht dann dieses Fallen?

Bei keimenden *Pisumsamen* ist nicht daran zu denken, dass nach drei oder viertägigem Keimen, Mangel an organischen Stoffen die Ursache davon sein sollte.

Zwar sind die Bedingungen, in denen sich die Keimlinge im Atmungsgefäss befinden, wie behaglich man diese auch einrichte, nicht ganz normal zu nennen.

Betrachten wir z. B. die Pflänzchen in unseren Versuchen.

Die Würzelchen, die vom Boden bedeckt sein sollten, befinden sich nun in einem Luftstrome. Aus der feuchten

---

[1]) Rischavi, l. c.

[2]) Mayer A. Landw. Versuchsstat. Bd. 18, 1875. S. 245.

Watte kann nichts anders als Wasser aufgenommen werden, während im Boden sicher auch anorganische Stoffe zur Verfügung stehen.

Besonders was das Letzte anbetrifft, will ich hier auf Versuche von Krzemieniewski [1]) verweisen über den Einfluss der Zufuhr und des Mangels von Mineralnährsalzen auf die Keimung von Samen.

Bei *Raphanus Keimlingen* konnte durch Zugabe von Mineralsalzen das Sinken nach dem erreichten Atmungsmaximum wieder aufgehoben werden, sowohl was die $CO_2$-Abgabe als die $O_2$-Aufnahme anbetrifft. Solange jedoch die Keimlinge auskömmlich Nährsalze besassen, war die Zufuhr von diesen ohne Erfolg auf den Atmungsverlauf.

Es ist daher vorsichtiger, wenn man bei der Keimungsatmung von einer „grossen Periode der Atmung" sprechen will, um darunter vorläufig nur das Steigen und Erreichen eines Maximums zu verstehen. Denn von dem Auftreten eines Abfalls und den Schwankungen nach dem Maximum, bei nicht schädlichen Temperaturen, weiss man nicht, ob diese wohl den normalen Verlauf der Atmung wiedergeben.

## 2. Die Relation. $\frac{CO_2}{O_2}$.

Aus den Tabellen II und III ergibt sich, dass im Anfang weniger $O_2$ aufgenommen als $CO_2$ ausgeschieden wird, und dass ungefähr 40 Stunden nach der Wasseraufnahme ein Zustand eintritt, wobei diese Relation fortwährend etwas grösser als 1 bleibt.

Tabelle IV zeigt ausser für 20° und 25° C., auch für 30° C., dass während der Wasseraufnahme der Quotient $\frac{CO_2}{O_2}$ sich allmählich verkleinert.

---

[1]) Krzemieniewski. S. Bull. acad. Crac. 1902. Zitiert nach Czapek. Bioch. der Pflanzen. Bd. 3, 1921. S. 47.

Diese Versuche begannen gleichfalls mit trocknen Erbsen auf feuchter Watte, und die ersten Beobachtungen fanden schon eine Stunde nach dem Einsatz statt.

## TABELLE IV.

### 50 trockne Samen.

| Datum. | Zeit. | Std. | ccm. $O_2$ aufgen. | ccm. $CO_2$ ausgesch. | $\frac{CO_2}{O_2}$ | Temp. | Bar. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| März 15. | $3^{30}$-$4^{30}$ Nachm. | 1. | — | — | — | 20.0° C. | 760 | Vorerwärmung. |
| | $4^{30}$-$6^{30}$ | 2. | 0.9 | 3. | 3.33 | „ | | |
| | $6^{30}$-$8^{30}$ | 2. | 2. | 4.5 | 2.20 | „ | | |
| | $8^{45}$-$10^{45}$ | 2. | 3.2 | 5.8 | 1.80 | „ | | |

### 100 trockene Samen.

| Datum. | Zeit. | Std. | ccm. $O_2$ aufgen. | ccm. $CO_2$ ausgesch. | $\frac{CO_2}{O_2}$ | Temp. | Bar. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| März 16. | 11-12 Vorm. | 1. | — | — | — | 25.0° C. | 755 | Vorerwärmung. |
| | 12-5 Nachm. | 5. | 1.7 | 4.5 | 2.70 | „ | | |
| | 5-10 | 5. | 8. | 19. | 2.37 | „ | | Die meisten Samen vollständig gequollen. |

### 50 trockne Samen.

| Datum. | Zeit. | Std. | ccm. $O_2$ aufgen. | ccm. $CO_2$ ausgesch. | $\frac{CO_2}{O_2}$ | Temp. | Bar. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| März 17. | 3-4 Nachm. | 1. | — | — | — | 30.0° C. | 752 | Vorerwärmung. |
| | 4-10 | 6. | 6.4 | 10.50 | 1.64 | „ | | |
| „ 17/18. | 10 Nachm.-10 Vorm. | 12 | 24.9 | 39.40 | 1.58 | „ | | Alle Samen vollständig gequollen. |

Man erhält also hier den Eindruck, als ob zugleich mit dem Anfang der Wasseraufnahme die zu veratmenden Stoffe erst in verschiedener Weise gespalten werden müssen, wonach der oxydierende Prozess eintreten kann.

Es ist jedoch ebenso möglich, dass die Fähigkeit zur $O_2$-Aufnahme nicht sofort vorhanden ist, sondern erst bei Wasserzutritt langsam entsteht.

Die Resultate welche in den Tabellen II, III und IV angegeben sind, stehen im Gegensatz zu den Ergebnissen Godlewskis[1]) und denen von Bonnier und Mangin[2]) (Siehe Seite 153).

### *b. Der Einfluss der Temperatur auf die Atmung.*

#### 1. Die $CO_2$-Abgabe und $O_2$-Aufnahme.

Die nachtstehenden Versuche wurden mit Keimlingen genommen, die zunächst 12 Stunden in Wasser zur Quellung gelegen hatten (Temp. ca. 20° C.), danach 2 Mal 24 Stunden in feuchten Sägespänen keimten und schiesslich 10 Stunden bei 25° C. im Apparat blieben, ehe die erste Beobachtung gemacht wurde.

Der Versuch begann jedes Mal damit, dass festgestellt wurde, welche Atmungsintensität die Keimpflanzen bei 25° C. besassen.

Hiermit wurde beabsichtigt, ein deutliches Bild vom Fallen und Steigen bei Temperaturerniedrigung resp. Erhöhung, zu erhalten. Immerhin war die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass bei gleichalterigen Individuen dieses Steigen oder Fallen infolge Temperaturänderungen in einem gewissen Sinne abhängig sein könnte von dem Anfangswert, den

---

[1]) Godlewski, l. c.

Bonnier und Mangin, l. c.

der Prozess bei einer nicht schädlichen Temperatur besass.

Dieser Verband war jedoch nicht festzustellen, und am wenigsten bei den höheren Temperaturen.

So ist in Tabelle XXI die Anfangsgrösse der $O_2$-Aufnahme bei 25° C. 23 und eine Stunde später bei 50° C. 24,7; während bei derselben Temperatur in einem anderen Versuche (Tabelle XX), der Anfangswert 23.6 war und eine Stunde nachher bei 50° C. 16.5.

Obwohl also nach den Anfangswerten beider Versuche zu urteilen ist, dass die Keimlinge sich im selben Stadium befanden, war der Einfluss einer höheren Temperatur auf die $O_2$-Aufnahme ganz verschieden.

Dasselbe wurde auch bei anderen Temperaturen festgestellt, obwohl weniger ausgeprägt und zwar nicht nur für die $O_2$-Aufnahme, sondern auch für die $CO_2$-Abgabe.

Hieraus ergibt sich, dass das Steigen oder Fallen, welches bei höheren resp. niedrigeren Temperaturen auftritt, nicht nur die Folge ist von der Temperatur, sondern auch von anderen Faktoren. Wenn nun auch die Anfangswerte nicht gebraucht werden können, um die später gefundenen Zahlen alle zu einem bestimmten Mittelwert umzurechnen, so besitzen sie doch die Bedeutung, dass sie wenigstens angeben, ob in den verschiedenen Versuchen sich die Objekte im Anfang auch auf einer ungefähr gleichen Höhe der Atmungsintensität befanden.

Wie schon auf Seite 117 angegeben wurde, leistete das Manometer $m_1$ gute Dienste, um die Zeit der Vorerwärmung zu bestimmen. In dem von uns gebrauchten Apparat, wo nicht nur das Atmungsgefäss und die Objekte vorerwärmt werden mussten, sondern auch das ganze System der Absorptionsröhren u. s. w., war bei Temperaturen von 40° C. ab eine längere Vorerwärmung nötig als in den Kuyperschen Versuchen.

Bei tieferen Temperaturen brachte eine längere Vorerwärmungszeit keinen Nachteil mit sich, aber bei den

höheren Temperaturen wurden hierdurch niedrigere Anfangswerte gefunden, als Kuyper sie erhielt.

Tabelle V und VI geben die Beobachtungen bei 0° und 10° C. an.

## TABELLE V.

| Datum. | Zeit. | Std. | ccm. $O_2$ aufgen. | ccm. $CO_2$ ausgesch. | $\frac{CO_2}{O_2}$ | Temp. | Bar | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mai 21/22. | 10 Nachm.-8 Vorm. | 10. | — | — | — | 25.0° C. | — | |
| „ 22. | 8-10 | 2. | 24.5 | 26.1 | 1.06 | „ | 760 | |
| | 10-11 | 1. | — | — | — | 0.0° C. | | Vorerwärmung. |
| | 11-1 Nachm. | 2. | 2.5 | 2.6 | 1.04 | „ | | |
| | 1-3 | 2. | 2.4 | 2.5 | 1 04 | „ | | |
| | $3^{15}$-$5^{15}$ | 2. | 2 6 | 2.7 | 1.04 | „ | | |

## TABELLE VI.

| Datum. | Zeit. | Std. | ccm $O_2$ aufgen. | ccm $CO_2$ ausgesch. | $\frac{CO_2}{O_2}$ | Temp. | Bar. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mai 22/23. | 10 Nachm.-8 Vorm. | 10. | — | — | — | 25.0° C. | — | |
| „ 23. | 8-10 | 2. | 25.6 | 26.4 | 1.03 | „ | 761 | |
| | 10-11 | 1. | — | — | — | 10.0° C. | | Vorerwärmung. |
| | 11-1 Nachm. | 2. | 8.2 | 8.6 | 1.03 | „ | | |
| | 1-3 | 2. | 8.3 | 8.5 | 1.02 | „ | | |
| | $3^{15}$-$5^{15}$ | 2. | 8.3 | 8 5 | 1.02 | „ | | |

In beiden Fällen ist die Atmung sechs Stunden lang konstant geblieben, während die Intensität bei 0° C. ca. 3 mal so klein ist als bei 10° C.

Tabelle VII und VIII beziehen sich auf die Versuche bei 20° und 25° C.

## TABELLE VII.

| Datum. | Zeit. | Std. | ccm $O_2$ aufgen. | ccm $CO_2$ ausgesch. | $\frac{CO_2}{O_2}$ | Temp. | Bar. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mai 24/25. | 10 Nachm.-8 Vorm. | 10. | — | — | — | 25.0° C. | — | |
| „ 25. | 8-10 | 2. | 24.8 | 25.7 | 1.03 | „ | 760 | |
| | 10-11 | 1. | — | — | — | 20.0° C. | | Vorerwärmung. |
| | 11-1 Nachm. | 2. | 19 2 | 20 1 | 1.04 | „ | | |
| | 1-3 | 2. | 20.1 | 21.2 | 1.05 | „ | | |
| | $3^{15}$-$5^{15}$ | 2. | 19.9 | 21.6 | 1.08 | „ | | |
| | $5^{15}$-$7^{15}$ | 2. | 19.2 | 20.9 | 1.08 | „ | | |

## TABELLE VIII.

| Datum. | Zeit. | Std. | ccm $O_2$ aufgen. | ccm $CO_2$ ausgesch. | $\frac{CO_2}{O_2}$ | Temp. | Bar. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mai 7/8. | 10 Nachm.-8 Vorm. | 10. | — | — | — | 25.0° C. | — | |
| „ 8. | 8-10 | 2. | 25.8 | 26.5 | 1.02 | „ | 757 | |
| | 10-12 | 2. | 28.2 | 28.8 | 1.02 | „ | | |
| | $12^{15}$-$2^{15}$ Nachm. | 2. | 28.1 | 28.3 | 1.01 | „ | | |
| | $2^{15}$-$4^{15}$ | 2. | 26.3 | 27.1 | 1.03 | „ | | |
| | $4^{30}$-$6^{30}$ | 2. | 25.5 | 26.1 | 1.02 | „ | | |
| | $6^{30}$-$8^{30}$ | 2. | 26.8 | 27.9 | 1.04 | „ | | |

Die Atmung geht auf und nieder, sowohl was die $CO_2$-Abgabe, als auch die $O_2$-Aufnahme betrifft. Die Intensität ist jedoch bei 25° C. grösser und stets ist die $CO_2$-Abgabe etwas stärker als die $O_2$-Aufnahme.

Die Ergebnisse bei 30° C. geben die Tabellen IX, X und XI an.

## TABELLE IX.

| Datum. | Zeit. | Std | ccm. $O_2$ aufgen. | ccm. $CO_2$ ausgesch. | $\frac{CO_2}{O_2}$ | Temp. | Bar | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mai 19/20. | 10 Nachm.-8 Vorm. | 10. | — | — | — | 25.0° C. | — | |
| „ 20. | 8-10 | 2 | 25.9 | 27.5 | 1.06 | „ | 760 | |
| | 10-11 | 1. | — | — | — | 30.0° C. | | Vorerwärmung. |
| | 11-1 Nachm. | 2. | 36.2 | 36.7 | 1.01 | „ | | |
| | 1-3 | 2. | 35.7 | 36.3 | 1.01 | „ | | |
| | $3^{15}$-$5^{15}$ | 2. | 34.4 | 37. | 1.07 | „ | | |
| | $5^{15}$-$7^{15}$ | 2. | 33.2 | 36.7 | 1.10 | „ | | |

## TABELLE X.

| Datum. | Zeit. | Std. | ccm. $O_2$ aufgen. | ccm $CO_2$ ausgesch. | $\frac{CO_2}{O_2}$ | Temp. | Bar. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mai 18/19. | 10 Nachm.-8 Vorm. | 10. | — | — | — | 25.0° C. | — | |
| „ 19. | 8-10 | 2. | 25.8 | 27.1 | 1.05 | „ | 762 | |
| | 10-11 | 1. | — | — | — | 30.0° C. | | Vorerwärmung. |
| | 11-1 Nachm. | 2. | 35. | 35.6 | 1.02 | „ | | |
| | 1-3 | 2. | 33. | 33.2 | 1.01 | „ | | |
| | $3^{15}$-$5^{15}$ | 2. | 31.6 | 33.6 | 1 06 | „ | | |
| | $5^{15}$-$7^{15}$ | 2. | 30. | 30.3 | 1.01 | „ | | |

## TABELLE XI.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgesch. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|
| Mai 28/29. | 9 Nachm.—8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — | |
| „ 29. | 8—9 | 1. | „ | 10.5 | |
| | 9—10 | 1. | 30.0° C. | — | Vorerwärmung. |
| | 10—11 | 1. | „ | 13. | |
| | 11—12 | 1. | „ | 13.2 | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 12.6 | |
| | 1—2 | 1. | „ | 12. | |
| | 2—3 | 1. | „ | 13.2 | |
| | 3—4 | 1. | „ | 12.6 | |

Tabelle XI, wo die Wahrnehmungen stündlich gemacht worden sind, gibt dasselbe Auf- und Niedergehen zu sehen, wie Kuyper es gefunden hat. Die $O_2$-Aufnahme zeigt in Tabellen IX und X eine langsame Senkung.

Es sei hier noch darauf hingewiesen, dass in Tabelle IX und X, die Wahrnehmungen alle zwei Stunden gemacht worden sind. Bei stündlichen Beobachtungen wären vielleicht auch hier Schwankungen gefunden.

Bei 35° C. sinken beide Prozesse, wie aus den Tabellen XII und XIII hervorgeht.

## TABELLE XII.

| Datum. | Zeit. | Std. | ccm $O_2$ aufgen. | ccm $CO_2$ ausgesch. | $\frac{CO_2}{O_2}$ | Temp. | Bar. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mai 8/9. | 10 Nachm.-8 Vorm. | 10. | — | — | — | 25.0° C. | — | |
| „ 9. | 8-10 | 2 | 24.8 | 26.3 | 1.06 | „ | 765 | |
| | 10-11 | 1. | — | — | — | 35.0° C. | | Vorerwärmung. |
| | 11-1 Nachm. | 2. | 36. | 38. | 1.05 | „ | | |
| | 1-3 | 2. | 35.9 | 38. | 1.06 | „ | | |
| | $3^{15}$-$5^{15}$ | 2. | 34.5 | 36.2 | 1.05 | „ | | |
| | $5^{15}$-$7^{15}$ | 2. | 32.1 | 34.6 | 1.07 | „ | | |
| | $7^{30}$-$9^{30}$ | 2. | 30.5 | 32.1 | 1.05 | „ | | |

## TABELLE XIII.

| Datum. | Zeit. | Std. | ccm $O_2$ aufgen. | ccm $CO_2$ ausgesch. | $\frac{CO_2}{O_2}$ | Temp. | Bar. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mai 9/10. | 10 Nachm.-8 Vorm. | 10. | — | — | — | 25.0° C. | — | |
| „ 10. | 8-10 | 2. | 23.9 | 24.9 | 1.04 | „ | 762 | |
| | 10-11 | 1. | — | — | — | 35.0° C. | | Vorerwärmung. |
| | 11-1 Nachm. | 2. | 36.4 | 37.3 | 1.02 | „ | | |
| | 1-3 | 2. | 36.1 | 36.7 | 1.02 | „ | | |
| | $3^{15}$-$5^{15}$ | 2. | 34.7 | 35.5 | 1.02 | „ | | |
| | $5^{15}$-$7^{15}$ | 2. | 33.8 | 34.2 | 1.01 | „ | | |

In Tabelle XIV zeigen die Stundenwahrnehmungen bei 35° C. ein Sinken mit Schwankungen.

TABELLE XIV.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgesch. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|
| Mai 26/27. | 9 Nachm.—8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — | |
| „ 27. | 8—9 | 1. | „ | 11.7 | |
| | 9—10 | 1. | 35.0° C. | — | Vorerwärmung. |
| | 10—11 | 1. | „ | 15. | |
| | 11—12 | 1. | „ | 12.8 | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 11.2 | |
| | 1—2 | 1. | „ | 12.3 | |
| | 2—3 | 1. | „ | 11.7 | |
| | 3—4 | 1. | „ | 12.3 | |
| | 4—5 | 1. | „ | 10.5 | |
| | 5—6 | 1. | „ | 11.2 | |

Bei 40° C. ist gleichfalls ein Sinken wahrzunehmen, wie aus den Tabellen XV, XVI und XVII zu ersehen ist.

Das Fallen ist hier jedoch ein stärkeres.

TABELLE XV.

| Datum. | Zeit. | Std. | ccm $O_2$ aufgen. | ccm $CO_2$ ausgesch. | $\frac{CO_2}{O_2}$ | Temp. | Bar. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mai 11/12. | 11 Nachm. 8 Vorm. | 10. | — | — | — | 25.0° C. | — | |
| „ 12. | 8-10 | 2. | 23.3 | 25.6 | 1.09 | „ | 753 | |
| | 10-11 | 1. | — | — | — | 40.0° C. | | Vorerwärmung. |
| | 11-1 Nachm. | 2. | 46.4 | 49.5 | 1.11 | „ | | |
| | 1-3 | 2 | 36.6 | 40. | 1.09 | „ | | |
| | $3^{15}$-$5^{15}$ | 2. | 32.7 | 36.7 | 1.12 | „ | | |

## TABELLE XVI.

| Datum. | Zeit. | Std. | ccm $O_2$ aufgen. | ccm $CO_2$ ausgesch. | $\frac{CO_2}{O_2}$ | Temp. | Bar. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mai 10/11. | 10 Nachm.-8 Vorm. | 10. | — | — | — | 25.0° C. | — | |
| „ 12. | 8-10 | 2. | 23.6 | 25.2 | 1.06 | „ | 758 | |
| | 10-11 | 1. | — | — | — | 40.0° C. | | Vorerwärmung. |
| | 11-1 Nachm. | 2. | 38.4 | 40.6 | 1.05 | „ | | |
| | 1-3 | 2. | 32.8 | 35.5 | 1.06 | „ | | |
| | $3^{15}$-$5^{15}$ | 2. | 30.5 | 34.7 | 1.10 | „ | | |
| | $5^{15}$-$7^{15}$ | 2. | 30. | 32 4 | 1.05 | „ | | |

## TABELLE XVII.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgesch. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|
| Mai 27/28. | 9 Nachm.—8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — | |
| „ 28. | 8—9 | 1. | „ | 12.5 | |
| | 9—10 | 1. | 40.0° C. | — | Vorerwärmung. |
| | 10—11 | 1. | „ | 20. | |
| | 11—12 | 1. | „ | 17— | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 15.7 | |
| | 1—2 | 1, | „ | 15.7 | |
| | 2—3 | 1. | „ | 15.4 | |
| | 3—4 | 1. | „ | 15.1 | |

Tabelle XVIII gibt für 45° C. einen Versuch an, der weiter fortgesetzt wurde.

## TABELLE XVIII.

| Datum. | Zeit. | Std. | ccm. $O_2$ aufgen. | ccm. $CO_2$ ausgesch. | $\frac{CO_2}{O_2}$ | Temp | Bar. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mai 13/14. | 10 Nachm.-8 Vorm. | 10. | — | — | — | 25.0° C. | — | |
| „ 14. | 8-10 | 2. | 24.3 | 26.2 | 1.07 | „ | 754 | |
| | 10-11 | 1. | — | — | — | 45.0° C. | | Vorerwärmung. |
| | 11-1 Nachm. | 2. | 40.8 | 43.5 | 1.06 | „ | | |
| | 1-3 | 2. | 25.5 | 27.5 | 1.07 | „ | | |
| | $3^{15}$-$5^{15}$ | 2. | 20.1 | 22. | 1.09 | „ | | |
| | $5^{15}$-$7^{15}$ | 2. | 17.5 | 20.6 | 1.11 | „ | | |
| Mai 14/15. | $7^{30}$ Nachm.-$8^{30}$ Vorm. | 13. | — | — | — | „ | | |
| „ 15. | $8^{30}$-$10^{30}$ | 2. | 44. | 46.2 | 1.05 | „ | 758 | Heftige Bakterienentwicklung. |

Am folgenden Morgen stellte sich eine grosse $O_2$-Aufnahme und $CO_2$-Abgabe heraus.

Bei mikroskopischer Untersuchung ergab sich, dass die Keimlinge bis zum Kern voller Bakterien waren, und gänzlich abgestorben zu sein schienen. Die $CO_2$-Erzeugung und $O_2$-Konsumption rührte also hauptsächlich von diesen Bakterien her, welche scheinbar mehr $CO_2$ abgaben als $O_2$ aufnahmen.

Tabelle XIX zeigt noch einmal an, dass nach einem 8 stündigen Verbleiben bei 45° C., die Bakterienatmung das Fallen der Erbsenatmung noch nicht aufgehoben hat.

## TABELLE XIX.

| Datum. | Zeit. | Std. | ccm. $O_2$ aufgenm. | ccm. $CO_2$ ausgesh. | $\frac{CO_2}{O_2}$ | Temp. | Bar. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mai 12/13. | 10 Nachm.-8 Vorm. | 10. | — | — | — | 25.0° C. | — | |
| „ 13. | 8-10 | 2. | 25.6 | 26.4 | 1.03 | „ | 750 | |
| | 10-11 | 1. | — | — | — | 45.0° C. | | Vorerwärmung. |
| | 11-1 Nachm. | 2. | 42.1 | 45.5 | 1.08 | „ | | |
| | 1-3 | 2. | 24.2 | 26.9 | 1.11 | „ | | |
| | $3^{15}$-$5^{15}$ | 2. | 22.2 | 24.7 | 1.11 | „ | | |
| | $5^{15}$-$7^{15}$ | 2. | 19.5 | 21. | 1.07 | „ | | |

Tabelle XX und XXI lassen deutlich erkennen, dass bei 50° C. ein sehr starkes Sinken auftritt.

## TABELLE XX.

| Datum. | Zeit. | Std. | ccm $O_2$ aufgen. | ccm $CO_2$ ausgesch. | $\frac{CO_2}{O_2}$ | Temp. | Bar. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mai 16/17. | 10 Nachm.-8 Vorm. | 10. | — | — | — | 25.0° C. | — | |
| „ 17. | 8-10 | 2 | 23.6 | 24.2 | 1.06 | „ | 753 | |
| | 10-11 | 1. | — | — | — | 50.0° C. | | Vorerwärmung. |
| | 11-12 | 1. | 16.5 | 23 6 | 1.43 | „ | | |
| | 12-1 Nachm. | 1. | 10.5 | 15 5 | 1.47 | „ | | |
| | $1^{15}$-$2^{15}$ | 1. | 6.7 | 11.1 | 1.65 | „ | | |
| | $2^{15}$-$3^{15}$ | 1. | 4.1 | 9.1 | 2.12 | „ | | |
| | $3^{30}$-$4^{30}$ | 1. | 4. | 9.1 | 2.27 | „ | | Bakterienentwicklung. |
| | $4^{30}$-$5^{30}$ | 1. | 10.2 | 13.9 | 1.34 | „ | | |
| | $5^{45}$-$6^{45}$ | 1. | 18.2 | 20.4 | 1.12 | „ | | |

## TABELLE XXI.

| Datum. | Zeit. | Std. | ccm $O_2$ aufgen. | ccm $CO_2$ ausgesch. | $\frac{CO_2}{O_2}$ | Temp. | Bar. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mai 15/16. | 10 Nachm.-8 Vorm. | 10. | — | — | — | 25.0° C. | — | |
| „ 16. | 8-10 | 2. | 23. | 24.1 | 1.04 | „ | 760 | |
| | 10-11 | 1. | — | — | — | 50.0° C. | | Vorerwärmung. |
| | 11-1 Nachm. | 2. | 24.7 | 30.5 | 1.23 | „ | | |
| | 1-3 | 2. | 9.4 | 15.7 | 1.68 | „ | | |
| | $3^{15}$-$5^{15}$ | 2. | 8. | 10.5 | 1.31 | „ | | |
| | $5^{15}$-$7^{15}$ | 2. | 12.6 | 14.2 | 1.12 | „ | | Bakterienentwicklung. |

Es trat jedoch schnell ein Steigen auf, welches durch die Bakterien verursacht wurde.

Aus Tabelle XX, wo stündlich wahrgenommen wurde, ist deutlich der Punkt festzustellen, wobei die Steigung durch die Bakterienatmung mit dem Fallen der Erbsenatmung kompensiert wird.

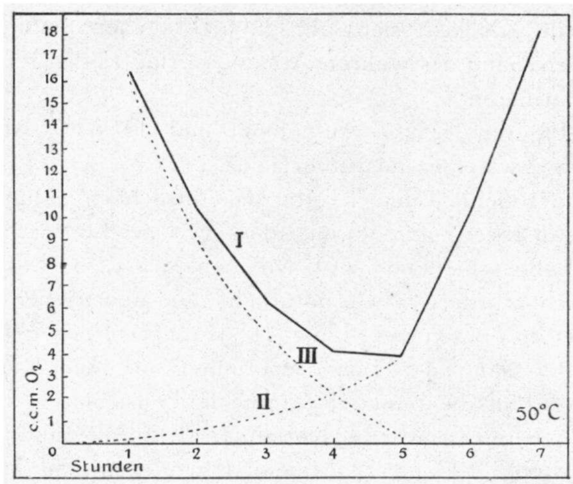

18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
c.c.m. O2
1
2
3
4
5
6
7
Stunden
I
II
III
50°C

Fig. 12.

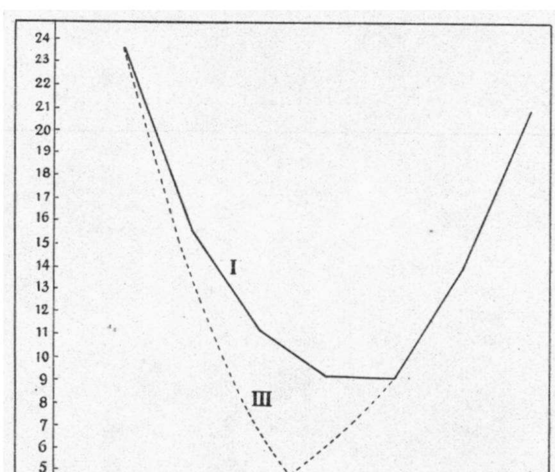

24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
c.c.m. CO2
1
2
3
4
5
6
7
Stunden
I
II
III
50°C

Fig. 13.

Tabelle XX lässt sich sehr gut gebrauchen, um den vermutlichen Gang des wahren Atmungsverlaufes der Erbsen zu konstruieren.

Die Figuren 12 ($O_2$-Aufnahme) und 13 ($CO_2$-Abgabe) geben an, wie dies auszuführen ist.

Die gezogene Linie I gibt die tatsächlich gefundenen Werte an. Setzt man voraus, dass von der fünften Stunde an, die abgeschiedenen $CO_2$-Mengen, allein von Bakterien verursacht wurden, — was natürlich etwas übertrieben ist, — so gibt die punktierte Linie II den vermutlichen (extrapolierten) Gang der Bakterienatmung an. Aus I und II lässt sich nun die punktierte Linie III konstruieren, die ungefähr den reinen Atmungsverlauf der Erbsenkeimlinge darstellt. In Fig. 12 und 13 (Linien III) zeigt dann die Atmung einen jähen Abfall bei einer Temperatur von 50° C.

Tabelle XXII lässt den Verlauf der Atmung bei 55° C. erkennen.

## TABELLE XXII.

| Datum. | Zeit. | Std. | ccm $O_2$ aufgen. | ccm $CO_2$ ausgesch. | $\frac{CO_2}{O_2}$ | Temp. | Bar. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mai 17/18. | 10 Nachm.-8 Vorm. | 10. | — | — | — | 25.0° C. | — | |
| „ 18. | 8-10 | 2 | 25.6 | 26.4 | 1.03 | „ | 758 | |
| | 10-11 | 1. | — | — | — | 55.0° C. | | Vorerwärmung. |
| | 11-12 | 1. | 16.4 | 21.6 | 1.22 | „ | | |
| | 12-1 Nachm. | 1. | 4.4 | 7.8 | 1.77 | „ | | |
| | 1¹⁵-2¹⁵ | 1. | 0.8 | 1.7 | 2.12 | „ | | |
| | 2¹⁵-3¹⁵ | 1. | ca0.1 | 0.6 | 6. | „ | | |

Nach 5 Stunden hörte der Gasaustausch vollständig auf. Bakterienentwicklung wurde hier nicht wahrgenommen, woraus sich ergibt, dass diese Temperatur für die hier auftretenden Bakterien schädlich sein muss, eine Tatsache, die sich auch später bestätigte.

Eine übersicht der Tabellenergebnisse V, VI, VII, VIII, IX, XIII, XVI, XIX, XX und XXII wird graphisch dargestellt in den Figuren 14 ($CO_2$-Abgabe) und 15 ($O_2$-Aufnahme).

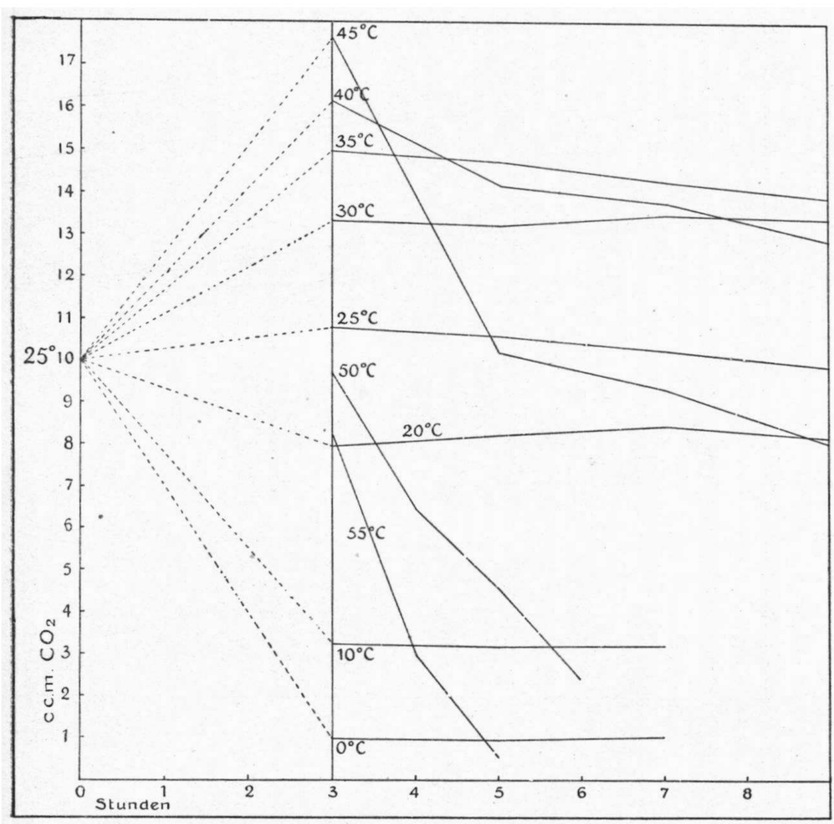



Fig. 14.

Zur Vereinfachung sind die gefundenen Anfangswerte von 25° C. alle auf 10ccm eingestellt. Nach diesem Massstabe sind die anderen Werte umgerechnet worden. Hier-

durch ist am Verlauf der Linien nichts geändert. Der absoluten Grösse der so gefundenen Zahlen ist weniger Wert beizulegen (Siehe Seite 176).

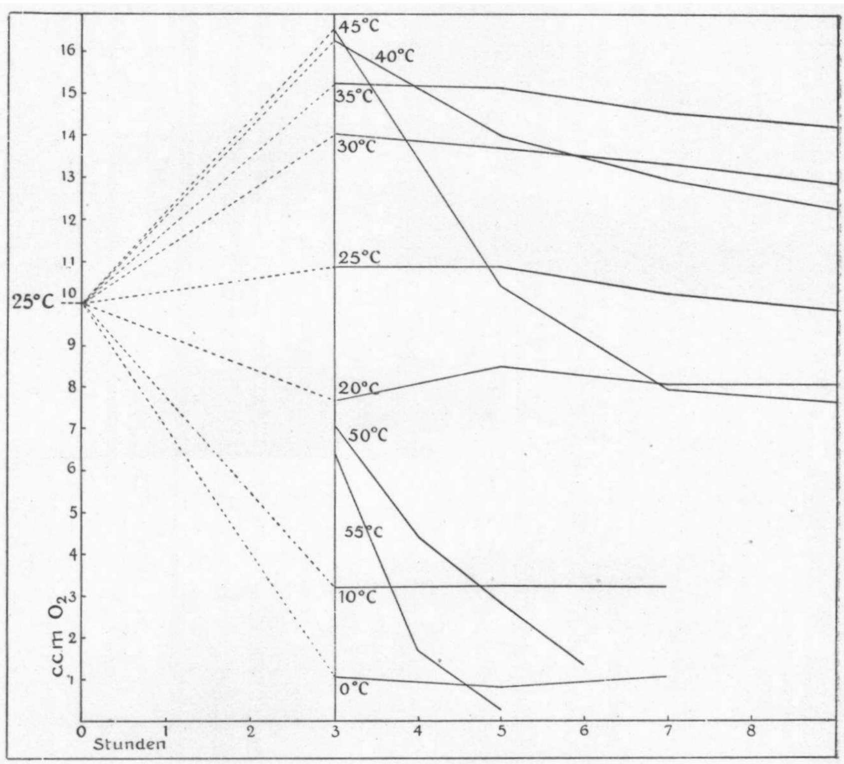



Fig. 15.

Fig. 16 stellt den schwankenden Verlauf der Stundenwerte von 30°, 35° und 40° C. an. (Tabellen XI, XIV und XVII). Die Anfangsgrösse ist auf 10ccm gestellt.

Die hier oben mit 4 Tage alten Keimlingen erhaltenen Ergebnisse der $CO_2$-Abgabe bei verschiedenen Temperaturen zeigen unzweifelhaft eine grosse Übereinstimmung mit

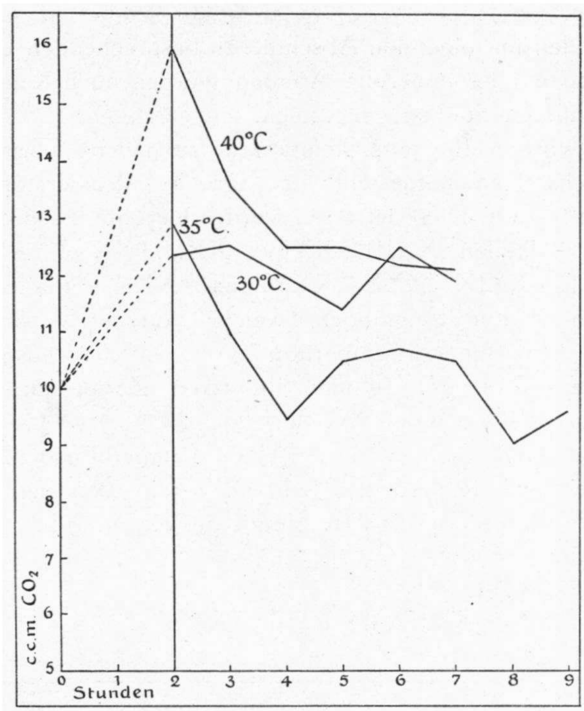



Fig. 16.

denjenigen, welche Kuyper mit gleichalten *Pisumkeimlingen* erhielt.

Bei 0° und 10° C. darf man von einem Konstantbleiben sprechen, bei 20°, 25° und 30° C. von einem Auf- und Niedergehen, während von 35° C. an der Prozess ein sinkender ist.

Dass man jedoch nicht in allen Fällen die Atmungsresultate eines bestimmten Keimungsstadiums verallgemeinern darf und noch viel weniger derartige Ergebnisse gebrauchen kann, um die Richtigkeit einer bestimmten Atmungstheorie

zu beweisen oder zu leugnen, wird jetzt näher besprochen werden.

Bei den im folgenden Abschnitt zu besprechenden Untersuchungen über anaerobe Atmung wurden auch Keimlinge von anderen Stadien genommen.

Es wurden für jede Temperatur zu gleicher Zeit zwei Versuchsreihen aufgestellt; die eine in Wasserstoff, die andere in Luft. Diese letzteren werden hierunter besprochen.

Die Tabellen XXIII, XXIV, XXV, XXVI, XXVII, XXVIII, XXIX, XXX, XXXI und XXII enthalten die Ergebnisse mit Keimlingen, welche von der Wasseraufnahme an, einer Temperatur von 25° C. ausgesetzt wurden, bis sie 21 Stunden alt waren. Zuvor hatten die Samen 9 Stunden in Wasser von 25° C. zur Quellung gelegen, und brachten bei derselben Temperatur die Nacht (11 Stunden) im Apparat zu. Die erste Wahrnehmung bezieht sich also auf die 21te Stunde der Keimung bei 25° C.

## TABELLE XXIII.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. |
|---|---|---|---|---|
| Aug. 16/17. | 9 Nachm.— 8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — |
| „ 17. | 8— 9 | 1. | „ | 9 |
| | 9—10 | 1. | 0.0° C. | — |
| | 10—11 | 1. | „ | 1.2 |
| | 11—12 | 1. | „ | 1. |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 1. |
| | 1—2 | 1. | „ | 0.8 |
| | 2—3 | 1. | „ | 0.8 |
| | 3—4 | 1. | „ | 0.8 |

## TABELLE XXIV.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. |
|---|---|---|---|---|
| Aug. 15/16. | 9 Nachm.— 8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — |
| „ 16. | 8— 9 | 1. | „ | 9.4 |
| | 9—10 | 1. | 10.0° C. | — |
| | 10—11 | 1. | „ | 3. |
| | 11—12 | 1. | „ | 2.6 |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 2.2 |
| | 1—2 | 1. | „ | 2.2 |
| | 2—3 | 1. | 20.0° C. | — |
| | 3—4 | 1. | „ | 6.2 |
| | 4—5 | 1. | „ | 6.6 |
| | 5—6 | 1. | 10.0° C. | — |
| | 6—7 | 1. | „ | 3.3 |
| | 7—8 | 1. | „ | 2.8 |

## TABELLE XXV.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. |
|---|---|---|---|---|
| Aug. 6/7. | 9 Nachm.— 8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — |
| | 8— 9 | 1. | „ | 9.2 |
| | 9—10 | 1. | 20.0° C. | — |
| | 10—11 | 1. | „ | 6. |
| | 11—12 | 1. | „ | 6.1 |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 6.4 |
| | 1—2 | 1. | „ | 6.4 |
| | 2—3 | 1. | „ | 6.5 |
| | 3—4 | 1. | „ | 6.5 |

## TABELLE XXVI.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. |
|---|---|---|---|---|
| Juli 20/21. | 9 Nachm.— 8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — |
| „ 21. | 8— 9 | 1. | „ | 10.2 |
| | 9—10 | 1. | „ | 10.2 |
| | 10—11 | 1. | „ | 10.2 |
| | 11—12 | 1. | „ | 10.2 |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 10.2 |
| | 1—2 | 1. | „ | 10.6 |
| | 2—3 | 1. | „ | 10.6 |
| | 3—4 | 1. | „ | 10.6 |
| | 4—5 | 1. | „ | 10.6 |
| | 5—6 | 1. | „ | 10.9 |
| | 6—7 | 1. | „ | 10.9 |

## TABELLE XXVII.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. |
|---|---|---|---|---|
| Juli 27/28. | 9 Nachm.— 8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — |
| „ 28. | 8— 9 | 1. | „ | 9.2 |
| | 9—10 | 1. | 30.0° C. | Vorerwärmung |
| | 10—11 | 1. | „ | 13.2 |
| | 11—12 | 1. | „ | 14. |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 14.9 |
| | 1—2 | 1. | „ | 14.9 |
| | 2—3 | 1. | „ | 14.9 |
| | 3—4 | 1. | „ | 15.4 |
| | 4—5 | 1. | „ | 15.9 |
| | 5—6 | 1. | „ | 16.3 |
| | 6—7 | 1. | „ | 16.3 |
| | 7—8 | 1. | „ | 16.8 |

# TABELLE XXVIII.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. |
|---|---|---|---|---|
| Aug. 7/8. | 9 Nachm.— 8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — |
| „ 8. | 8— 9 | 1. | „ | 9.2 |
| | 9—10 | 1. | 35.0° C. | Vorerwärmung. |
| | 10—11 | 1. | „ | 12.8 |
| | 11—12 | 1. | „ | 14.2 |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 14.2 |
| | 1—2 | 1. | „ | 14.2 |
| | 2—3 | 1. | „ | 13.9 |
| | 3—4 | 1. | „ | 14.4 |
| | 4—5 | 1. | „ | 13.5 |
| | 5—6 | 1. | „ | 13.8 |
| | 6—7 | 1. | „ | 14.2 |
| | 7—8 | 1. | „ | 13.4 |
| „ 8/9. | 8 Nachm.—10 Vorm. | 14. | „ | — |
| | 10—11 | 1. | „ | 15.8 |
| | 11—12 | 1. | „ | 16.2 |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 16.6 |
| | 1—2 | 1. | „ | 16.8 |

## TABELLE XXIX.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. |
|---|---|---|---|---|
| Aug. 2/3. | 9 Nachm.— 8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — |
| „ 3. | 8— 9 | 1. | „ | 9. |
| | 9—10 | 1. | 40.0° C. | Vorerwärmung. |
| | 10—11 | 1. | „ | 17.7 |
| | 11—12 | 1. | „ | 17.7 |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 16.8 |
| | 1—2 | 1. | „ | 15.4 |
| | 2—3 | 1. | „ | 14.2 |
| | 3—4 | 1. | „ | 14.9 |
| | 4—5 | 1. | „ | 15.9 |
| | 5—6 | 1. | „ | 17. |
| | 6—7 | 1. | „ | 17.7 |
| | 7—8 | 1. | „ | 18.1 |
| | 8—9 | 1. | „ | 18.7 |

## TABELLE XXX.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. |
|---|---|---|---|---|
| Aug. 1/2. | 9 Nachm.— 8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — |
| „ 2. | 8— 9 | 1. | „ | 10.7 |
| | 9—10 | 1. | 45.0° C. | Vorerwärmung. |
| | 10—11 | 1. | „ | 16.8 |
| | 11—12 | 1. | „ | 14. |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 11.2 |
| | 1—2 | 1. | „ | 10.2 |
| | 2—3 | 1. | „ | 11.2 |
| | 3—4 | 1. | „ | 10.2 |
| | 4—5 | 1. | „ | 10.2 |
| | 5—6 | 1. | „ | 11.2 |
| | 6—7 | 1. | „ | 14. |
| | 7—8 | 1. | „ | 15. |

## TABELLE XXXI.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. |
|---|---|---|---|---|
| Aug. 14/15. | 9 Nachm.— 8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — |
| „ 15. | 8— 9 | 1. | „ | 10.2 |
| | 9—10 | 1. | 50.0° C. | Vorerwärmung. |
| | 10—11 | 1. | „ | 16.3 |
| | 11—12 | 1. | „ | 15.9 |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 16.8 |
| | 1—2 | 1. | „ | 17.7 |
| | 2—3 | 1. | „ | 19.6 |
| | 3—4 | 1. | „ | 26.5 |

## TABELLE XXXII.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. |
|---|---|---|---|---|
| Aug. 12/13. | 9 Nachm— 8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — |
| „ 13. | 8— 9 | 1. | „ | 9.8 |
| | 9—10 | 1. | 55.0° C. | Vorerwärmung. |
| | 10—11 | 1. | „ | 11.2 |
| | 11—12 | 1. | „ | 5.2 |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 3.1 |
| | 1—2 | 1. | „ | 3.1 |
| | 2—3 | 1. | 50.0° C. | — |
| | 3—4 | 1. | „ | 4.6 |
| | 4—5 | 1. | „ | 14. |
| | 5—6 | 1. | „ | 21.5 |

Eine Übersicht von diesen Tabellen gibt Figur 17.

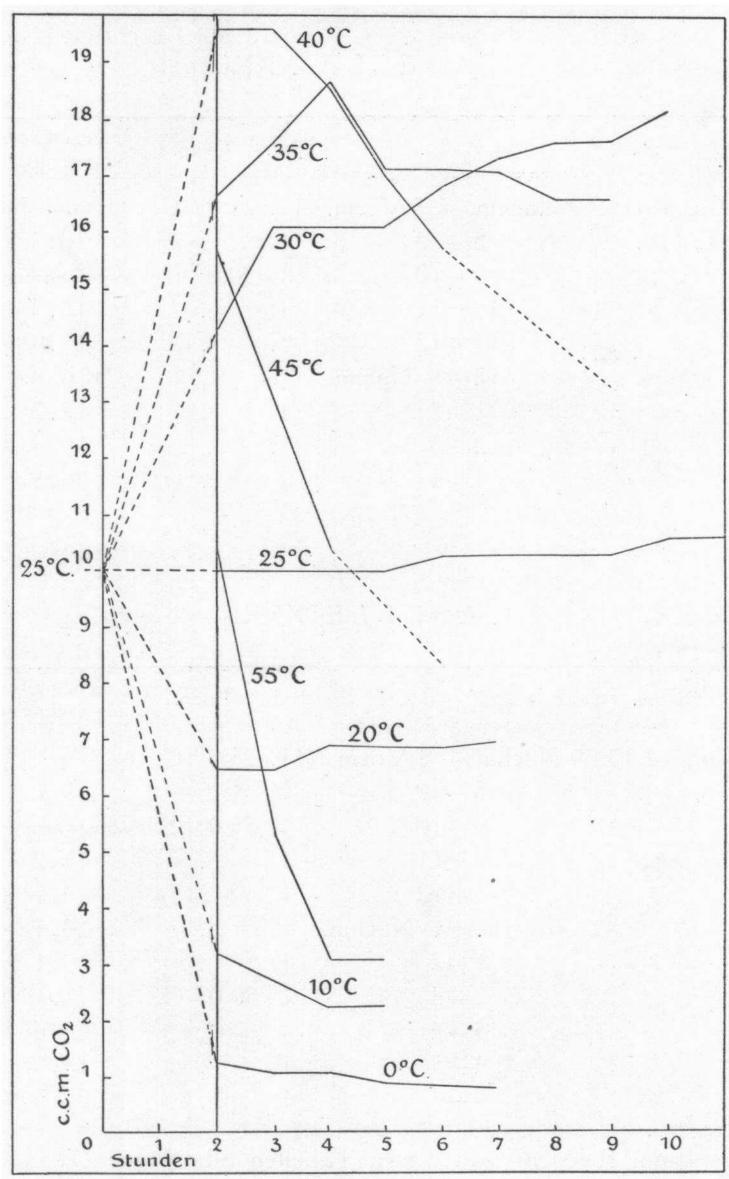

40°C
35°C
30°C
45°C
25°C
25°C.
55°C
20°C
10°C
0°C
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
c.c.m. $CO_2$
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Stunden

Fig. 17.

Die Anfangswerte von 25° C. sind alle auf 10 ccm. zurückgebracht, und nach diesem Massstabe sind die anderen Zahlen umgerechnet.

Die Linie von 50° C. ist in der Figur nicht gezogen, da hier die Bakterienentwicklung sehr schnell überwiegend war.

Im Gegensatz zu der $CO_2$-Abgabe bei Samen, die 4 Tage gekeimt hatten, sehen wir hier bei 21 Stunden alten Keimlingen das Folgende:

Bei 40° C. ein Steigen oder Konstantbleiben 2 bis 3 Stunden lang, wonach ein Fallen auftritt; bei 35° C. ein Auf- und Niedergehen, das mehr als 10 Stunden dauert; bei 30°, 25° und 20° C. ein Steigen; bei 10° und 0° C. ein Konstantbleiben.

Schwankungen treten hier also erst bei 35° C. auf, während wir sie schon bei 20° C. sahen bei Erbsen, die 4 Tage gekeimt hatten.

Aus diesen Versuchen ergibt sich, dass die erste Hypothese von Kuyper, wobei vorausgesetzt wurde, dass die Schwankungen bei höheren Temperaturen durch verstärktes Wachstum einerseits und Beschädigung des Atmungsprozesses andrerseits verursacht würden, nicht zur Erklärung dieser Schwankungen gebraucht werden kann.

Denn hier sehen wir deutlich, dass z. B. eine Temperatur von 30° C., welche bei 4 Tage alten Keimlingen Schwankungen erzeugt und also nach Kuyper die Atmung schädigen sollte, gerade umgekehrt auf Keimlinge von 21 Stunden einwirkt, obgleich in beiden Fällen das Wachstum sehr stark ist.

Ebenso kommt dieses Verhältnis zum Ausdruck, wenn man mit Samen von noch jüngeren Keimungsstadien experimentiert.

Tabellen XXXIII und XXXIV enthalten die Resultate von

Versuchen bei 40° und 50° C., welche folgenderweise vorgenommen wurden;

50 trockne Samen wurden ins Atmungsgefäss b (Fig. 9) auf trockne Watte gelegt und mehrere Stunden lang auf 40° resp. 50° C. gehalten.

Nachdem die Samen also die Temperatur vollkommen angenommen hatten, wurde die Watte mit Wasser von der gleichen Temperatur befeuchtet.

(Bei den anaeroben Versuchen musste zu diesem Zweck eine besondere Vorrichtung an das Atmungsgefäss befestigt werden, welche im folgenden Abschnitt behandelt werden wird).

## TABELLE XXXIII.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|
| Aug. 26/27. | 10 Nachm.— 8 Vorm. | 10. | 40.0° C. | nihil. | Trocken. |
| „ 27. | 8— 9 | 1. | „ | 0.6 | Wasser von 40° C. hinzugefügt. |
| | 9—10 | 1. | „ | 2.4 | |
| | 10—11 | 1. | „ | 5.8 | |
| | 11—12 | 1. | „ | 7.8 | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 7.8 | |
| | 1—2 | 1. | „ | 7.8 | |
| | 2—3 | 1. | „ | 7.8 | |
| | 3—4 | 1. | „ | 7.8 | |
| | 4—5 | 1. | „ | 10. | Bakterienentwicklung. |
| | 5—6 | 1. | „ | 11. | |
| | 6—7 | 1. | „ | 11.80 | |

## TABELLE XXXIV.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|
| Aug. 18. | 10 Vorm.—3 Nachm. | 5. | 50.0° C. | nihil. | Trocken. |
| | 3 — $4^{30}$ | 1½. | „ | 0.9 | Wasser von 50° C. hinzugefügt. |
| | $4^{30}$— 5 | ½. | „ | 1.2 | |
| | 5 — $5^{30}$ | ½. | „ | 2.3 | |
| | $5^{30}$— 6 | ½. | „ | 3.7 | |
| | 6 — $6^{30}$ | ½. | „ | 4.2 | |
| | $6^{30}$— 7 | ½. | „ | 4.4 | |
| | 7 — $7^{30}$ | ½. | „ | 4.6 | |
| | $7^{30}$— 8 | ½. | „ | 5.4 | |
| | 8 — $8^{30}$ | ½. | „ | 5.4 | |
| | $8^{30}$— 9 | ½. | „ | 5.6 | |
| | 9 — $9^{30}$ | ½. | „ | 5.6 | |
| | $9^{30}$—10 | ½. | „ | 5.4 | |
| | 10 —$10^{30}$ | ½. | „ | 5.4 | |
| | $10^{30}$—11 | ½. | „ | 5.4 | |
| | 11 —$11^{30}$ | ½. | „ | 5.4 | |
| | $11^{30}$—12 | ½. | „ | 5.6 | |
| „ 19. | 12 —$12^{30}$ | ½. | „ | 8. | Bakterienentwicklung. |
| | $12^{30}$— 6 Vorm. | 5½. | „ | — | |
| | $6^{30}$— 7 | ½. | „ | 22.2 | |
| | 7 — $7^{30}$ | ½. | „ | 31.8 | |

Der Atmungsprozess konnte hier nun bei Temperaturen von 40° resp. 50° C. einsetzen, ohne dass durch eine Vorerwärmung ein schädlicher Einfluss zu befürchten war; denn eine Beschädigung der trocknen Samen durch diese hohe Temperatur ist soweit bekannt ausgeschlossen. Jedenfalls

ist die Atmung der trocknen Samen im allgemeinen praktisch gleich Null zu setzen, was auch bei höheren Temperaturen der Fall ist, weil in unsern Versuchen, während der Vorerwärmung, das Barytwasser der Pettenkoferschen Röhren vollständig klar blieb.
Fig. 18 und 19 stellen die gefundenen Zahlen graphisch dar (gezogene Linien).

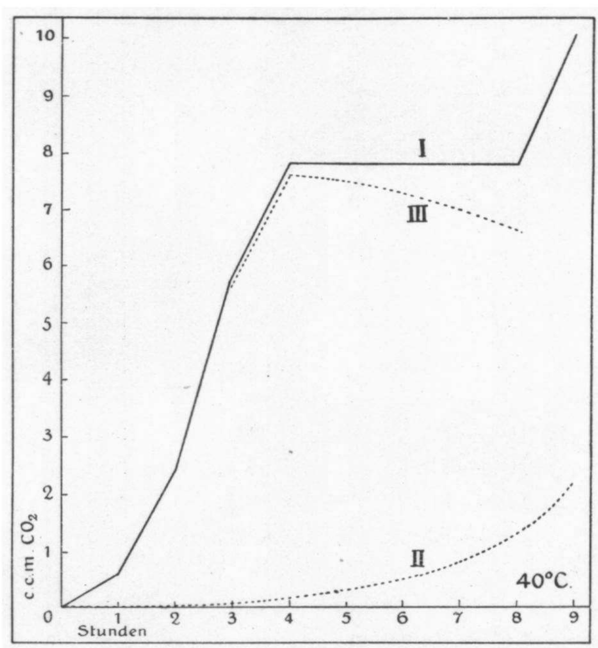



Fig. 18.

Nach einem vier bis fünfstündigen Steigen, was zweifellos in Beziehung zur Wasseraufnahme steht, blieben bei beiden Temperaturen die Mengen der ausgeschiedenen $CO_2$ auf derselben Höhe, bis eine Steigung auftrat, die durch Bakterien verursacht wurde.

Das Auftreten von Bakterien und das zu Grunde gehen

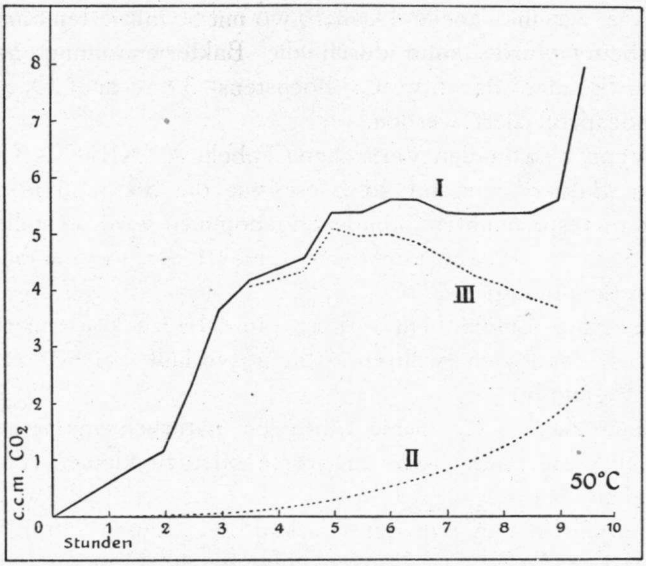



Fig. 19.

der Objekte in diesen Versuchen beweist, dass diese Temperatur für die Atmung nach Wasseraufnahme schädlich ist. Der normale Verlauf der Atmung bei diesem Wärmegrad wird also auf die Dauer keine gerade Linie zeigen können.

Auch ist hier der Einfluss der Wasseraufnahme, nämlich die Vergrösserung der atmenden Zellenmasse, nach der fünften Stunde von keiner Bedeutung mehr für eine Zunahme der $CO_2$-Abgabe.

Dies geht aus den übereinstimmenden Versuchen in Wasserstoff hervor, (siehe Tabellen LII, LIV, LV), wo Bakterien ausgeschlossen waren. (Fig. 22). Das Konstantbleiben nach der fünften Stunde (Tabellen XXXIII und XXXIV) wird folglich hauptsächlich durch die Bakterienentwicklung verursacht.

Das Sinken des Atmungsprozesses wurde demnach längere Zeit kompensiert durch die $CO_2$-Abgabe der Bakterien.

Wie wir in Tabelle I sahen, wo mit 50 infizierten Samen gearbeitet wurde, kann durch die Bakterienatmung nach sechs Stunden bei 50° C. höchstens 3.8 ccm $CO_2$ pro Stunde produziert werden.

Wenn also in den Versuchen (Tabelle XXXIII, XXXIV) diese Bakterienatmung so gross wie die Steigung in der achten, resp. neunten Stunde angenommen wird, so stellt in Fig. 18 resp. 19, die punktierte Linie II den Verlauf dieser Bakterienatmung dar.

Aus den Linien I und II ist Linie III zu konstruieren, welche dann den wahren Atmungsverlauf bei 40° resp. 50° C. angibt.

Beim Ziehen von Linie II herrscht natürlich eine gewisse Freiheit. Sie kann etwas zu grosse oder zu kleine Werte angeben.

Vergleicht man nun den Verlauf der Linien (Fig. 14, 17 und 18) für die $CO_2$-Ausscheidung bei 40° C. miteinander, dann fällt sofort der grosse Unterschied ins Auge.

Das Fallen der Atmungsintensität bei 40° C ist bei älteren Keimlingen stärker als bei jüngeren,

Wir kommen also zum Schlusse:

Dieselbe hohe Temperatur hat einen desto stärkeren Einfluss auf den Atmungsverlauf, je älter das Keimungsstadium ist.

Betrachten wir genau die Ergebnisse der Versuche (Tabellen II und III), welche den Atmungsverlauf in den ersten Keimungstagen angeben, so ergibt sich, dass die Atmung, nach der Wasseraufnahme, die Tendenz zum Steigen zeigt. (Fig. 11).

Dieser Faktor, der also bei der Keimung ein Steigen der Atmung bis zu einem gewissen Maximum erzeugt (abgesehen von den Schwankungen, die dann auftreten und dem darauffolgenden Sinken), kann man in Anschluss an A. Mayer „Grosse Periode der Atmung" nennen.

Natürlich wird eine Beziehung bestehen zwischen der Steigung des Atmungsgaswechsels und der gleichzeitig damit stattfindenden Zunahme der Zahl der atmenden Zellen in den wachsenden Objekten.

Die Erscheinung der grossen Periode nur mit dieser Zellvermehrung zu erklären, geht meines Erachtens nicht. Denn von einem bestimmten Augenblick an, erreicht der Atmungsprozess ein Maximum und bleibt längere Zeit darauf stehen, während die Zellenvermehrung fortschreitet, was sich aus der Wachstumszunahme ergibt.

Will man nun den Einfluss eines bestimmten äusseren Faktors auf den Atmungsverlauf bei keimenden Samen studieren, so lehren die obigen Versuche mit Keimlingen verschiedener Entwicklungsstadia, dass man diese grosse Periode nicht ausser acht lassen darf.

Wählt man z. B. zu seinen Untersuchungen Keimpflanzen, die sich noch in der grossen Periode befinden, — also die Tendenz zum Steigen besitzen —, und bringt man dieselben z. B. auf eine gleichhohe nicht schädliche Temperatur, so kann man einen sehr verschiedenen Atmungsverlauf erhalten. Entweder wird bei der höheren Temperatur der Prozess längere Zeit mit erhöhter Intensität steigen, oder man kommt sogleich auf das „Plateau der Schwankungen".

Dieser verschiedene Verlauf ist zweifellos von dem Faktor „grosse Periode" beeinflusst.

Vernachlässigt man diesen Faktor, so muss man selbstverständlich in den Fällen, wo er überwiegt, zu falschen Folgerungen kommen.

Was den Einfluss der Temperatur auf den Verlauf der Keimungsatmung anbetrifft, so darf man nur solche Versuche mit einander vergleichen, deren Keimlinge sich in derselben Atmungsphase befinden.

Es wäre z.B. sehr erwünscht gewesen, wenn in den

Kuyperschen Versuchen [1]) mit tropischen Pflanzen, auch angegeben worden wäre, in welchem Atmungsstadium diese Keimlinge sich befanden.

Seine Versuche mit *Arachis hypogaea*, die er als bestes Vergleichsmaterial mit seinen früheren Versuchen, [2]) wobei er Pisum sativum gebrauchte, ansieht, gaben ihm folgendes Resultat:

„Bei 15° C. ist die Atmung während vier aufeinanderfolgenden Stunden konstant; bei 25° C. finde ich eine kleine Zunahme der $CO_2$-Abgabe; desgleichen bei 30° C., während man bei 35° C. entweder eine Schwankung um einen Mittelwert oder sogar eine kleine, aber regelmässige Abnahme beobachtet, eine Abnahme, die sich bei höheren Temperaturen immer stärker zeigt; 35° C. ist also die Temperatur, die man als Wendepunkt betrachten kann in Bezug auf den Temperatureinfluss.".

Bei 4 Tage alten *Pisumkeimlingen* beobachtete Kuyper das Auftreten der Schwankungen erst bei 25° und 30° C., während bei 35° ein Sinken auftrat. Jetzt, bei *Arachis* findet er für gleichalte Keimpflanzen, dass diese Schwankungen erst bei 35° C. vorkommen. Hieraus schliesst er, dass für diese Pflanze die „kritische" Temperatur deutlich 5° bis 10° höher liegen sollte. Und das erklärt er in der folgenden Weise: „Die tropischen Pflanzen stehen also in dieser Hinsicht in einem Gleichgewicht mit ihren äusseren Umständen; die Temperatur auf Java wird wohl ungefähr 10° höher sein als die Durchschnittstemperatur der Vegetationsperiode in den gemässigten Zonen."

Diese Folgerung Kuypers kann richtig sein, aber sie darf nicht aus seinen Versuchen mit

---

1) Kuyper, J. Ann. du Jardin Bot. de Buitenzorg, 2e Série, Vol. IX, 1911, S. 45.

2) Kuyper, J. Recueil des trav. botan. néerlandais. Vol. VII, 1910, S. 131.

Arachis gezogen werden. Denn aus den Tabellen XXVI, XXVII und XXVIII ergibt sich, dass dieselbe höhere Temperatur, die er für *Arachis* als eine „kritische" bezeichnet, infolge ihrer tropischen Natur, es auch für *Pisum* in der gemässigten Zone sein sollte, wenn man z. B. mit Keimlingen arbeitet, die 21 Stunden alt sind.

Hieraus folgt, dass der von Kuyper bei Arachis gefundene Wendepunkt nichts beweist für die tropische Natur dieser Pflanze, es sei denn, dass vorher bewiesen worden wäre, dass sowohl bei *Arachis hypogaea* als bei *Pisum sativum* am vierten Keimungstag auch dieselbe Phase der grossen Periode erreicht ist.

Vergleichen wir den Temperatureinfluss auf die $O_2$-Aufnahme mit demjenigen auf die $CO_2$-Abgabe, so erhalten wir:

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tabelle 5. | $CO_2$-Abgabe | $\frac{25^\circ C.}{0^\circ C.}$ | = 10.— | $O_2$-Aufnahme | $\frac{25^\circ C.}{0^\circ C.}$ | = 9.8 |
| „ 6. | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{10^\circ C.}$ | = 3.14 | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{10^\circ C.}$ | = 3.04 |
| „ 7. | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{20^\circ C.}$ | = 1.22 | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{20^\circ C.}$ | = 1.23 |
| „ 9. | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{30^\circ C.}$ | = 0.74 | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{30^\circ C.}$ | = 0.71 |
| „ 10. | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{30^\circ C.}$ | = 0.78 | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{30^\circ C.}$ | = 0.73 |
| „ 12. | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{35^\circ C.}$ | = 0.69 | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{35^\circ C.}$ | = 0.68 |
| „ 13. | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{35^\circ C.}$ | = 0.66 | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{35^\circ C.}$ | = 0.65 |
| „ 15. | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{40^\circ C.}$ | = 0.51 | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{40^\circ C.}$ | = 0.50 |
| „ 16. | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{40^\circ C.}$ | = 0.62 | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{40^\circ C.}$ | = 0.61 |
| „ 18. | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{45^\circ C.}$ | = 0.60 | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{45^\circ C.}$ | = 0.59 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Tabelle 19. | $CO_2$-Abgabe | $\frac{25^\circ C.}{45^\circ C.} = 0.58$ | $O_2$-Aufnahme | $\frac{25^\circ C.}{45^\circ C.} = 0.55$ |
| „ 20. | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{50^\circ C.} = 1.02$ | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{50^\circ C.} = 1.42$ |
| „ 21. | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{50^\circ C.} = 1.26$ | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{50^\circ C.} = 1.07$ |
| „ 22. | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{55^\circ C.} = 1.22$ | „ „ | $\frac{25^\circ C.}{55^\circ C.} = 1.56$ |

Hieraus ergibt sich eindeutig, dass bei beiden Prozessen der Temperatureinfluss fast derselbe ist. Erst bei 50° und 55° C. treten Unregelmässigkeiten auf, aber nirgends zeigt sich, dass der eine Prozess stärker beeinflusst wird als der andere, wie in der 2ten Hypothese Kuypers vermutet wird.

2. Die Theorie von Blackman[1]).

Keimende Samen von *Pisum sativum* haben scheinbar bei 20° C das Maximum der grossen Periode bereits am vierten Tage erreicht und befinden sich in diesem Stadium auf dem „Plateau der Schwankungen". Gegen Kuypers Betrachtungen über die Blackmansche Theorie kann also nicht angeführt werden, dass der Faktor „Grosse Periode der Atmung" von Einfluss gewesen ist auf die von ihm erhaltenen Zahlen, mit viertägigen *Pisumkeimlingen*. In allen anderen Fällen jedoch, wo die Anwesenheit eines bestimmten Faktors den Temperatureinfluss überherrscht, wird es wohl unmöglich sein, ohne exakte Analyse etwas zu zeigen von der Richtigkeit der Blackmanschen Theorie.

Fräulein v. Amstel[2]) berichtet z.B. von einer Untersuchung der $O_2$-Aufnahme bei Keimpflanzen. Sie schliesst

[1]) Blackman, F. F. Ann. of Botany. Bd. 19, 1905, S. 281.

[2]) van Amstel, J. E. De temperatuursinvloed op physiologische processen der alkoholgist. Delfter Dissert. 1912.

aus ihren Versuchen, dass die Blackmansche Theorie aufgegeben werden muss, weil die Linie der Nullstundenwerte keine steigende, sondern eine Optimumkurve ist.

Vom gebrauchten Material und seiner Vorbehandlung wird nichts anderes gesagt, als dass es *Weizenkeimlinge* waren.

Wenn man jedoch aus den Ergebnissen, welche wir mit vier Tage alten Keimlingen erhielten, (Fig. 14) die Nullstundenlinie durch die Blackmansche Extrapolation konstruieren wollte, so würden hierbei die verschiedenen Punkte ganz anders zu liegen kommen, als wenn das Material der 21 Stunden alten Keimlinge (Fig. 17) dazu gebraucht würde. Es ist darum sehr gut denkbar, dass z.B. der Faktor Grosse Periode in den Versuchen von v. Amstel einen solchen Einfluss ausgeübt hat, wodurch das Entstehen einer „Optimumkurve" erklärt wird.

Im allgemeinen haben alle bisherigen Betrachtungen über die Blackmansche Theorie meiner Meinung nach einen beschränkten Wert.

Denn die Richtigkeit dieser Hypothese wird nur dann dargetan werden können, wenn man den zu untersuchenden physiologischen Prozess streng analysiert hat, mit anderen Worten, wenn man den Einfluss von Nebenfaktoren aufgehoben, oder wenigstens erst festgestellt hat.

Hierbei muss nicht nur an äussere Faktoren, sondern auch an innere gedacht werden, kurz an alle Faktoren, die das Keimpflänzchen beherrschen.

Vergegenwärtigen wir uns noch einmal den Hauptgedanken, welcher der Blackmanschen Theorie zu Grunde liegt.

Blackman nimmt an, in Übereinstimmung mit Tammann[1]) und Duclaux[2]), dass die Wirkung der

---

[1]) Tammann, G. Die Reaktionen der ungeformten Fermente. Zeitschr. physiol. Chem. Bd. 16, 1892, S. 317.

[2]) Duclaux, E. Traité de microbiologie. Bd. 2. 1899, S. 193.

Enzyme von zwei Faktoren beherrscht wird, nämlich durch die Temperatur und die Enzymmenge.

Die Enzyme aber sind zersetzliche Stoffe und zerfallen schon bei niederen Temperaturen in unwirksame Komponenten. Dieser Prozess wird bei höheren Temperaturen noch beschleunigt.

Der Temperatureinfluss auf die Enzymwirkung ist nun derart, dass man einerseits eine Zuhname der *Reaktionsgeschwindigkeit* erhält und andererseits eine Beschleunigung des *Enzymzerfalls.*

Diese Relation zwischen Temperatur und Enzymwirkung konnte Tammann bei Enzymen in wässerigen Lösungen experimentell feststellen. Er ist auch der erste gewesen, der auf die Bedeutung des Zeitfaktors hinwies.

Es scheint mir nun, dass diese Verhältnisse im Organismus viel verwickelter sind. Hier hat man nicht nur mit den obigen beiden Faktoren zu tun, sondern es tritt noch ein dritter hinzu, der in dem Wiederaufbau der zersetzen Enzymmenge besteht.

Den Temperatureinfluss auf die Enzymwirkung muss man sich hier etwa so vorstellen:

1. Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit,
2. Teilweiser Zerfall der Enzyme,
3. Gesteigerter oder wenigstens geänderter Wiederaufbau der Enzyme.

Nimmt man diese Erweiterung der Blackmanschen Hypothese an, so folgt hieraus, dass das Gleichgewicht bei nicht schädlichen Temperaturen hergestellt wird durch den obengenannten 3ten Faktor.

Will man nun aus der festgestellten Grösse der *Enzymwirkung* durch eine Berechnung den Wert für die *Enzymreaktionsgeschwindigkeit* finden, so ist es unbedingt nötig, dass man auch die Geschwindigkeit kennt, mit welcher die Prozesse, in 2 und 3 genannt, verlaufen.

Es braucht also nicht weiter auseinandergesetzt zu werden,

dass wir zur Zeit noch sehr weit davon entfernt sind, um Blackmans Hypothese experimentell darzustellen, weshalb mir Betrachtungen in diese Richtung an der Hand unserer Ergebnisse zwecklos erscheinen.

Es sei hier noch verwiesen auf die kritische Studie von Cohen Stuart,[1]) wo die Blackmansche Theorie eingehend besprochen ist.

3. Die Relation. $\frac{CO_2}{O_2}$.

Betrachten wir in den Tabellen V—XIX die verschiedenen Werte des Quotienten $\frac{CO_2}{O_2}$, wie er sich bei Temperaturen von 0°-45° C berechnen liess, so sehen wir, dass dieser Quotient von der Temperatur nicht beeinflusst wird. Er schwankt zwischen 1.00 und 1.12, eine Erscheinung, die auch bei normalen Temperaturen wahrzunehmen ist. (Tabellen II und III).

Für *Phaseolus multiflorus, Hordeum distichum, Triticum vulgare, Helianthus annuus, Cucurbita Pepo* und *Lupinus albus* fand Pourievitch[2]) dass $\frac{CO_2}{O_2}$ grösser wird bei Temperaturerhöhung. Die höchste Temperatur seiner Versuche war 35° C. Von der Vorbehandlung der Keimlinge wird nichts angegeben. Bei vielen Versuchen betrug die Temperaturschwankung 3° C. Die Methode von Pourievitch war derjenigen von Bonnier und Mangin gleich und bestand im Analysieren von Luftproben, die aus dem Atmungsgefäss genommen wurden. Oft dauerten seine Beobachtungen mehr als 20 Stunden und der Sauerstoffgehalt seines Apparates sank auf 4 %. Pourievitch konnte jedoch zeigen, dass diese $O_2$-Verminderung keinen schädlichen Einfluss hatte auf den Atmungsgaswechsel

[1]) C. P. Cohen Stuart. Kon. Akad. Amsterdam, 1912, S. 1159.
[2]) Pourievitch l. c.
[3]) Bonnier und Mangin l. c.

seiner Versuchsobjekte. Die Art und Weise seiner Beweisführung hierzu sagt aber wenig. Denn er gibt nur an, dass $\frac{CO_2}{O_2}$ für verschiedene Sauerstoffspannungen gleich bleibt. Hieraus ist nicht zu ersehen, ob die Sauerstoffverminderung auch die Prozesse der $O_2$-Aufnahme und $CO_2$-Abgabe beeinflusst hat.
Ganz im Gegensatz zu seinen Ergebnissen über den Temperatureinfluss auf $\frac{CO_2}{O_2}$, stehen unsere Resultate.

Erst bei 50° und 55° C. konnte in unseren Versuchen eine Erhöhung von $\frac{CO_2}{O_2}$, beobachtet werden. (Tabellen XX, XXI und XXII).

Bemerken wir hier noch, dass bei den verschiedenen Temperaturen $\frac{CO_2}{O_2}$ stets grösser als 1 blieb.

## 4. Der Temperaturkoeffizient $Q_{10}$.

$Q_{10}$ = das Verhältnis der Geschwindigkeitskonstante K bei $x + 10^\circ$ zu dem bei $x^\circ$ C. $\left(Q_{10} = \frac{K_{x+10}}{K_x}\right)$.

Wie schon Kuyper fand und auch aus unseren Versuchen hervorgeht, bleibt bei 4 Tage alten Keimlingen die Anfangsgrösse des Atmungsprozesses bei schädlichen Temperaturen nicht konstant, sondern wird sie in den aufeinanderfolgenden Stunden *immer kleiner*.

Je höher die Temperatur, desto schneller fällt der Atmungsprozess.

Ein Versuch, in solchen Fällen dennoch die Anfangsintensität nach einer Zeit 0 zu finden, gibt die Extrapolationsmethode Blackmans [1]).

[1]) Blackman, l. c.

Durch Elimination des schädlichen Temperatureinflusses, welche eine Funktion der Zeit ist, würde man also auch für höheren Temperaturen $Q_{10}$ berechnen können.

Betrachten wir jetzt für 20° und 30° C. den Atmungsverlauf bei 21 Stunden alten Keimlingen (Tabellen XXV und XXVII.

Die Anfangsgrösse der Atmung ist bei 30° C. höher als bei 20° C., aber in beiden Fällen nimmt sie zu als Folge der Tatsache, dass die Objekte sich hier noch in der grossen Periode der Atmung befinden. Diese Beschleunigung des Atmungsprozesses in den aufeinanderfolgenden Stunden ist bei 30° C. grösser als bei 20° C. Die Zunahme durch diese Beschleunigung ist also abhängig von der Temperatur und ist ebenfalls eine Funktion der Zeit.

Will man also für dieses Keimungsstadium $Q_{10}$ berechnen, so darf man die gefundenen Werte der Atmungsintensität nicht ohne weiteres durch einander dividieren. In diesem Falle sollte man erst den förderenden Einfluss der grossen Periode eliminiert haben.

Aus diesem Beispiel ist wohl zu folgern, dass man auch bei niedrigen Temperaturen etwas Ähnliches finden muss.

In der Phase der grossen Periode der Atmung darf man auch bei nicht schädlichen Temperaturen den Zeitfaktor nicht vernachlässigen.

## B. Anaerobe Atmung.

### a. *Der Verlauf der anaeroben Atmung bei einer nicht schädlichen Temperatur.*

In Tabelle XXXV sind die Resultate eines Versuches angegeben, der mit 75 trocknen Erbsen auf feuchter Watte begann. Die Samen wurden zuvor zehn Stunden in Wasser von 20° C. gequollen. Sie blieben über Nacht, zehn Stunden lang, auf 25° C im Wasserstoffstrom im Apparat. Dann

begannen am folgenden Morgen um 8 Uhr die Beobachtungen, die jede zwei Stunden gemacht wurden. Beim Beginn der Wahrnehmungen waren also alle Erbsen vollständig gequollen.

## TABELLE XXXV.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgesch. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|
| Juni 26/27. | 10 Nachm.—8 Vorm. | 10. | 25.0° C. | — | Wasserstoffstrom. |
| „ 27. | 8—10 | 2. | „ | 21.2 | |
| | 10—12 | 2. | „ | 21.8 | |
| | 12—2 Nachm. | 2. | „ | 21.8 | |
| | 2—4 | 2. | „ | 21.8 | |
| „ 27/28. | 4 Nachm.—8 Vorm. | 16. | „ | — | |
| „ 28. | 8—10 | 2. | „ | 20.8 | |
| | 10—12 | 2. | „ | 20.8 | |
| | 12—2 Nachm. | 2. | „ | 20.8 | |
| | 2—4 | 2. | „ | 20.2 | |
| „ 28/29. | 4 Nachm.—8 Vorm. | 16. | „ | — | |
| „ 29. | 8—10 | 2. | „ | 20. | |
| | 10—12 | 2. | „ | 20.4 | |
| | 12—2 Nachm. | 2. | „ | 20.4 | |
| | 2—4 | 2. | „ | 20.6 | |
| | 4—6 | 2. | „ | 20. | |
| „ 29/30. | 6 Nachm.—8 Vorm. | 14. | „ | — | |
| „ 30. | 8—10 | 2. | „ | 20.4 | |
| | 10—12 | 2. | „ | 20. | |
| | 12—2 Nachm. | 2. | „ | 20. | |
| | 2—4 | 2. | „ | 20.6 | |
| | 4—6 | 2. | „ | 20.4 | |
| | 6—8 | 2. | „ | 20.4 | 50 Würzelchen schon durch die Samenhaut gebrochen. |
| „ 30. | 8 Nachm. | | „ | 128.4 d.i. pro 2 Std. | Luftstrom. |
| Juli 1. | 8 Vorm. | 12. | | 21.4 | |
| | 11¹⁵ Vorm.—1¹⁵ Nachm. | 2. | „ | 21.6 | |
| | 1¹⁵—3¹⁵ | 2. | „ | 25.2 | |
| | 3¹⁵—5¹⁵ | 2. | „ | 26.4 | |
| | 5¹⁵—7¹⁵ | 2. | „ | 27.3 | Wurzellänge ca. 1 cm. |

Der Verlauf der $CO_2$-Abgabe zeigte vier Tage lang ein Schwanken um einen Mittelwert, man könnte sagen ein Konstantbleiben. Am Ende des vierten Tages wurde das Atmungsgefäss geöffnet, und man konnte den gebildeten Alkohol deutlich riechen. Die Erbsen zeigten noch eine grüne Farbe und bei 50 waren die Würzelchen durch die Samenhaut gebrochen. Eine normale Entwicklung fand also nicht statt. Von einem bestimmten Punkte an muss das Wachstum eingestellt worden sein.

Über die Frage eines anaeroben Wachstums gehen die Meinungen sehr auseinander. Eine ausführliche Untersuchung über diesen Gegenstand stellte Nabokich [1]) an. Im Gegensatz zu ihm sind die Meinungen von Pfeffer [2]), Wortmann, [3]) Detmer, [4]) Wieler, [5]) Palladin, [6]), Godlewski und Polzeniusz [7]) und Polowzow, [8]) die im sauerstofffreien Raume einen gänzlichen Stillstand des Wachstums wahrnahmen.

Nabokich meint, dass der Fehler der anderen darin liegt, dass sie Schlüsse aus zu kurzen Versuchen gezogen haben.

Seiner Meinung nach gibt es bestimmt ein anaerobes Wachstum, und dieses soll in gewisser Beziehung mit dem Prozess des normalen aeroben Wachstums völlig identisch sein. So sagt Nabokich u. a.:

„Es zeigte sich nämlich, dass die Entwicklung der Pflanzen

---

1) Nabokich, A. J. Landw. Jahrb. Bd. 38, 1909, S. 53.

2) Pfeffer, W. Landw. Jahrb. Bd. 7, 1878, S. 805.

3) Wortmann, J. Bot. Zeit. Bd. 42, 1884, S. 705.

4) Detmer, W. Landw. Jahrb. Bd. 2, 1882, S. 226.

5) Wieler, A. Unters. d. bot. Inst. zu Tübingen, Bd. 1, S. 223.

6) Palladin. Die Bedeutung des Sauerstoffes für die Pflanzen. Moskau 1885, S. 87.

7) Godlewski u. Polzeniusz. Bull. d. l'acad. d. sc. d. Cracovie, 1901, S. 258.

8) Polowzow, W. Abh. d. Kais. Akad. d. Wissensch. z. Petersb. Série 8, Bd. 12, 1901, S. 62.

im sauerstofffreien Medium streng nach dem Gezetze der grossen Periode verläuft, etc."

Mit *Pisum sativum* stellte Nabokich nur einige Versuche an. Er musste von diesem Objekte bald Abstand nehmen: „denn die Wurzelspitzen litten hier schon am zweiten Tage des Experiments, während für die Äusserung des Wachstums derselben nicht weniger als drei Tage anaerober Kultur erforderlich waren. Augenscheinlich war die Pflanze für die Lösung der Frage wenig tauglich, und man musste sich nach Objekten mit intensiverer anaeroben Wachstumsfähigkeit umsehen."

Die von Nabokich untersuchten Keimlinge hatten eine so abnormale Vorperiode und unterlagen einem solch tief eingreifenden Verfahren, dass meines Erachtens aus seinen Wachstumsmessungen wenig zu schliessen ist.

Obwohl es nicht in unserer Absicht lag bei den anaeroben Atmungsversuchen zugleich den Wachstumsprozess zu studieren, konnte doch ein solcher festgestellt werden.

Über den Verlauf der aneroben $CO_2$ Produktion fanden Godlewski und Polzeniusz,[1]) wie bereits Seite 160 berichtet wurde, dass bei diesen Pflanzen „am ersten Tage die intramolekulare Atmung immer noch sehr schwach war. Sie verstärkte sich aber rasch, sodass meistens schon am dritten, seltener am vierten, manchmal schon am zweiten Tage der Höhepunkt der Kohlensäurebildung erreicht war. Zu diesem Maximum gelangt, erhielt sich die intramolekulare Atmung eine bis zwei Wochen lang in gleicher Höhe, um dann ganz allmählich wieder zu sinken und endlich ganz aufzuhören".

Es ist selbstverständlich, dass die langsame Steigung während des ersten Tages in Beziehung zur Wasseraufnahme steht. Je tiefer das Wasser in das innere der Erbse eindringt, um so mehr Zellen werden dann an der $CO_2$-

---

[1]) Godlewski und Polzeniusz l. c.

Abgabe teilnehmen. Wie schon bereits Seite 133 angeführt, wird das weitere Steigen, das diese Autoren bis zum 4ten Tage beobachteten, nur scheinbar gewesen sein und ist es wahrscheinlich zurückzuführen auf Alkoholdämpfe, mit denen sich die Luft im Apparat allmählich sättigte.

Ihr Resultat, dass die $CO_2$-Abgabe, von einem bestimmten Punkte an, längere Zeit konstant bleibt, steht also in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen in Tabelle XXXV angegeben.

Von den Objekten berichten Godlewski und Polzeniusz nur, dass keine Keimung stattfand.

Es scheint demnach für *Pisum sativum* die Anwesenheit von $O_2$ für die Keimung und das normale Wachstum notwendig zu sein.

Am Ende des vierten Tages wurden die Keimlinge (Tabelle XXXV) in der darauffolgenden Nacht in einem Luftstrom gehalten.

Am nächsten Tage zeigte sich deutlich, dass die $CO_2$-Abgabe erst langsam und dann bedeutend stieg. Scheinbar waren die Pflanzen durch das längere Verweilen in einer Wasserstoffatmosphäre nicht derart beschädigt worden, dass sie hierdurch ihre ganze Lebenstätigkeit einbüssten.

In den letzten 20 Stunden in der Luft entstand ein starkes Wachstum und die meisten Keimlinge bildeten in dieser Zeit 1 cm. lange Würzelchen.

Es gibt nun zwei Möglichkeiten, womit man sich die Beziehung zwischen Keimung (resp. Wachstum) und $O_2$-Anwesenheit denken könnte.

Entweder ist die bei der anaeroben Atmung entwickelte Energie unzureichend um Keimung hervorzurufen, oder, die Energie für die Keimung ist in genügender Menge vorhanden, aber von dem $O_2$ muss ein bestimmter Reiz zum Wachsen ausgehen.

Über eine etwaige Reizwirkung kann an der Hand unserer Versuche nicht geurteilt werden.

Wohl gestatten die Ergebnisse eine Betrachtung über die Energieentwicklung beim anaeroben Prozess anzustellen.

Die Beobachtungen in Tabelle XXXV begannen, nachdem die Samen zehn Stunden gequollen und 10 Stunden lang im Apparat zugebracht hatten, um die Wasseraufnahme zu vervollständigen.

In den Untersuchungen (Tabellen XXXIX bis LI) haben wir jedesmal die erste Wahrnehmung gemacht mit Samen, die neun Stunden lang in Wasser von 25° C. gelegen hatten und danach elf Stunden bei derselben Temperatur in Luft oder im Wasserstoffstrom gehalten waren.

Aus all diesen Beobachtungen ergab sich, dass die $CO_2$-Abgabe von 75 Erbsen, nach einer solchen Vorbehandlung, in Luft nur wenig kleiner war als in Wasserstoff. Die anaerobe $CO_2$-Ausscheidung würde also in diesem Stadium etwas grösser sein als die $CO_2$-Produktion bei normaler Atmung.

Setzen wir nun wegen der Alkoholbildung den anaeroben Prozess bei Pisumkeimlingen der alkoholischen Gärung identisch, so sollte jener auch nach der Formel $C_6 H_{12} O_6 = 2 C_2 H_5 OH + 2 CO_2$, wobei 22 Kal. frei werden, verlaufen; während die Formel für normale Atmung $C_6 H_{12} O_6 + 6 O_2 = 6 H_2 O + 6 CO_2$ ist. Hierbei werden 678 Kal. frei.

Nehmen wir den Fall, dass die anaerobe $CO_2$-Produktion der aeroben gleich ist, so erhalten wir:

$3 C_6 H_{12} O_6 = 6 C_2 H_5 OH + 6 CO_2 + 66$ Kal., und $C_6 H_{12} O_6 + 6 O_2 = 6 H_2 O + 6 CO_2 + 678$ Kal., woraus folgt, dass bei Pisum der anaerobe Prozess $\pm \frac{1}{10}$ der Energie liefert, welche bei der normalen Atmung frei wird.

Das Nichtauftreten der normalen Keimung muss also hauptsächlich in einem Mangel der dazu notwendigen Energie gesucht werden.

Wie gesagt, war sowohl in den Versuchen von God-

lewski und Polzeniusz, als auch in den obigen von einem bestimmten Punkte an, die $CO_2$-Produktion konstant.

Hieraus darf man nicht ableiten, dass der anaerobe Prozess bei dieser Temperatur auch während längerer Zeit eine konstante Intensität besitzt.

Im Gegenteil, dieses Konstantbleiben der $CO_2$-Abgabe, lässt sich nur dadurch erklären, dass man annimmt, dass der Prozess eine Neigung zum Steigen besitzt. Hierauf werden wir später zurückkommen.

### *b. Der Einfluss der Temperatur auf die anaerobe Atmung.*

Betrachten wir nun zunächst einige Versuche bei 30°, 35° und 40° C, wobei 50 vier Tage alte Keimlinge gebraucht wurden.

Die Samen wurden zuvor 12 Stunden in Wasser von 20° C. gequollen und keimten danach 48 Stunden bei derselben Temperatur in feuchten Sägespänen. Dann wurden abends zwei Portionen von 50 gleich entwickelten Keimlingen ausgewählt und gleichzeitig Versuche in Wasserstoff (A) und in Luft (B) angesetzt. Die eine Portion blieb während der Nacht (11 Stunden) bei 25° C. im Wasserstoffstrom; die andere unter denselben Bedingungen im Luftstrom. Am folgenden Morgen wurde erst eine Wahrnehmung bei 25° C. gemacht. Danach wurde die Temperatur erhöht resp. erniedrigt.

Die Vorerwärmungszeit war in all diesen Versuchen eine Stunde.

## TABELLE XXXVI.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. A. in Wasserstoff. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. B. in Luft. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mai 28/29. | 9 Nachm.—8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — | — | |
| „ 29. | 8—9 | 1. | „ | 8.4 | 10.5 | |
| | 9—10 | 1. | 30.0° C. | — | — | Vorerwärmung |
| | 10—11 | 1. | „ | 9.6 | 13. | |
| | 11—12 | 1. | „ | 8.8 | 13.2 | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 8.4 | 12.6 | |
| | 1—2 | 1 | „ | 9. | 12. | |
| | 2—3 | 1. | „ | 8.8 | 13.2 | |
| | 3—4 | 1. | „ | 7.8 | 12.6 | |

## TABELLE XXXVII.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. A. in Wasserstoff. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. B. in Luft. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mai 26/27. | 9 Nachm.—8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — | — | |
| „ 27. | 8—9 | 1. | „ | 9.3 | 11.7 | |
| | 9—10 | 1. | 35.0° C. | — | — | Vorerwärmung. |
| | 10—11 | 1. | „ | 13.2 | 15. | |
| | 11—12 | 1. | „ | 11.4 | 12.8 | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 10.6 | 11.2 | |
| | 1—2 | 1. | „ | 10.4 | 12.3 | |
| | 2—3 | 1. | „ | 10.4 | 11.7 | |
| | 3—4 | 1. | „ | 10.9 | 12.3 | |
| | 4—5 | 1. | „ | 9.9 | 10.5 | |
| | 5—6 | 1. | „ | 9.3 | 11.2 | |

## TABELLE XXXVIII.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. A. in Wasserstoff. | B. in Luft. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mai 27/28. | 9 Nachm.—8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — | — | |
| „ 28. | 8—9 | 1. | „ | 9. | 12.5 | |
| | 9—10 | 1. | 40.0° C. | — | — | Vorerwärmung. |
| | 10—11 | 1. | „ | 15. | 20. | |
| | 11—12 | 1. | „ | 13.5 | 17. | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 12.2 | 15.7 | |
| | 1—2 | 1. | „ | 12. | 15.7 | |
| | 2—3 | 1. | „ | 11.9 | 15.4 | |
| | 3—4 | 1. | „ | 11.7 | 15 1 | |

Bei 30° C. (Tabelle XXXVI) sehen wir die $CO_2$-Abgabe in der bekannten Weise schwanken, sowohl in A. als auch in B. Im Wasserstoff besteht jedoch die Neigung zum Sinken.

Desgleichen zeigen bei 35° C. (Tabelle XXXVII) beide Versuche Schwankungen.

Das Fallen ist hier aber stärker ausgesprochen.

Tabelle XXXVIII gibt den Verlauf bei 40° C. an. Hier sinkt die $CO_2$-Abgabe sowohl in A. als in B.

Fig. 20 gibt eine graphische Vorstellung der Tabellen XXXVI, XXXVII und XXXVIII.

Die Anfangswerte gehen von 10 aus.

Aus diesen Versuchen ergibt sich deutlich, dass bei 4 Tage alten Keimlingen bei Temperaturen von 30°, 35°, und 40° C. keine Steigung der anaeroben $CO_2$-Ausscheidung wahrzunehmen ist.

Auch ist die $CO_2$-Abgabe in Luft grösser als in Wasserstoff. Demnach würde hier $\frac{I}{N}$ kleiner als 1 sein.

Jetzt wollen wir die Resultate besprechen, die sich bei 21 Stunden alten Keimlingen ergaben.

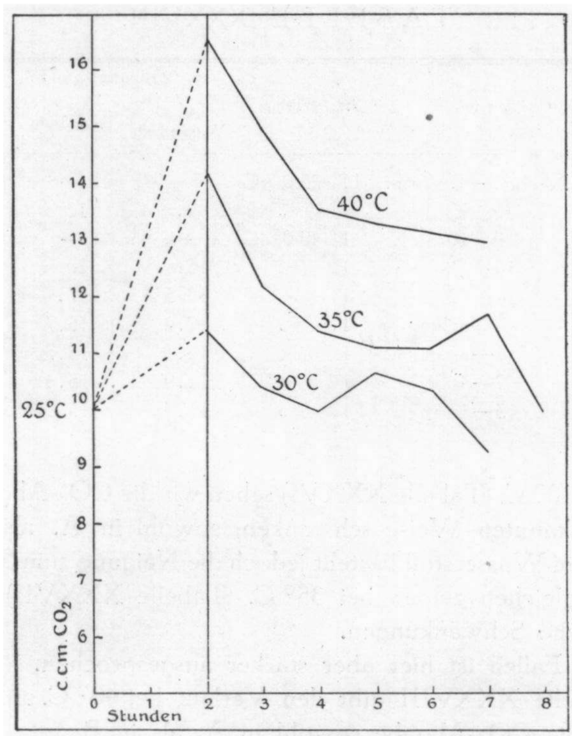



Fig. 20.

Die Samen wurden zuvor neun Stunden in Wasser von 25° C. gequollen. Dann wurden abends zwei Portionen von 75 gleich gequollenen Samen ausgewählt und gleichzeitig Versuche in Wasserstoff (A) und in Luft (B) angesetzt. Die eine Portion blieb während der Nacht (11 Stunden) bei 25° C. im Wasserstoffstrom; die andere unter denselben Bedingungen im Luftstrom. Am folgenden Morgen wurde erst eine Wahrnehmung bei 25° C. gemacht. Danach wurde die Temperatur erhöht resp. erniedrigt.

Bei 0° (Tabelle XXXIX) ist die $CO_2$-Abgabe gering und bleibt mehrere Stunden konstant.

## TABELLE XXXIX.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. A. in Wasserstoff. | B. in Luft. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Aug. 16/17. | 9 Nachm.—8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — | — | |
| „ 17. | 8—9 | 1. | „ | 9.8 | 9. | |
| | 9—10 | 1. | 0.0° C. | — | — | Vorerwärmung. |
| | 10—11 | 1. | „ | 1. | 1.2 | |
| | 11—12 | 1. | „ | 1. | 1. | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 0.8 | 1. | |
| | 1—2 | 1. | „ | 0.8 | 0.8 | |
| | 2—3 | 1. | „ | 0.8 | 0.8 | |
| | 3—4 | 1. | „ | 0.8 | 0.8 | |

Tabelle XL zeigt bei 10° C. dieselbe Konstanz.

## TABELLE XL.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. A. in Wasserstoff. | B. in Luft. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Aug. 15/16. | 9 Nachm.—8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — | — | |
| „ 16. | 8—9 | 1. | „ | 10.6 | 9.4 | |
| | 9—10 | 1. | 10.0° C. | — | — | Vorerwärmung. |
| | 10—11 | 1. | „ | 2.6 | 3. | |
| | 11—12 | 1. | „ | 2.4 | 2.6 | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 2.2 | 2.2 | |
| | 1—2 | 1. | „ | 2.2 | 2.2 | |
| | 2—3 | 1. | 20.0° C. | — | — | |
| | 3—4 | 1. | „ | 6.2 | 6.2 | |
| | 4—5 | 1. | „ | 6.6 | 6.6 | |
| | 5—6 | 1. | 10.0° C. | — | — | |
| | 6—7 | 1. | „ | 3. | 3.3 | |
| | 7—8 | 1. | „ | 2.6 | 2.8 | |

Da bei diesem Versuch mein Eisvorrat zu Ende ging, wurde nach der vierten Stunde die Temperatur auf 20° C. gebracht. Hierdurch trat in beiden Versuchen die gleiche Steigung der $CO_2$-Abgabe auf. Später auf 10° C. zurück-

gebracht, stellte sich die ursprüngliche Intensität sogleich wieder ein.

Tabelle XLI gibt für 20° C. an, dass sowohl in A. als auch in B. eine geringe Steigung zu beobachten ist. Vielleicht ist es besser, in A. von einem Konstantbleiben zu sprechen.

## TABELLE XLI.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. | | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | A. in Wasserstoff. | B. in Luft. | |
| Aug. 6/7. | 9 Nachm.—8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — | — | |
| „ 7. | 8—9 | 1. | „ | 10. | 9.2 | |
| | 9—10 | 1. | 20.0° C. | — | — | Vorerwärmung. |
| | 10—11 | 1. | „ | 6. | 6. | |
| | 11—12 | 1. | „ | 6. | 6.1 | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 6.1 | 6.4 | |
| | 1—2 | 1. | „ | 6.1 | 6.4 | |
| | 2—3 | 1. | „ | 6.1 | 6.5 | |
| | 3—4 | 1. | „ | 6.2 | 6.5 | |

## TABELLE XLII.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. | | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | A. in Wasserstoff. | B. in Luft. | |
| Juli 20/21. | 9 Nachm.—8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — | — | |
| „ 21. | 8—9 | 1. | „ | 12.8 | 10.2 | |
| | 9—10 | 1. | „ | 12.8 | 10.2 | |
| | 10—11 | 1. | „ | 12.8 | 10.2 | |
| | 11—12 | 1. | „ | 12.6 | 10.2 | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 13.10 | 10.2 | |
| | 1—2 | 1. | „ | 12.8 | 10.6 | |
| | 2—3 | 1. | „ | 13.10 | 10.6 | |
| | 3—4 | 1. | „ | 13.10 | 10.6 | |
| | 4—5 | 1. | „ | 13.10 | 10.6 | |
| | 5—6 | 1. | „ | 13.10 | 10.9 | |
| | 6—7 | 1. | „ | 12.8 | 10.9 | |

Dass der Prozess in Luft deutlich steigt bei 25° C., während in Wasserstoff die $CO_2$-Ausscheidung um einen Mittelwert schwankt, geht aus der Tabelle XLII hervor.

Bei 30° C (Tabelle XLIII) nimmt in A. sowohl als in B. die $CO_2$-Abgabe zu. Zu bemerken ist hier noch, dass oft einige Stunden nacheinander dieselben $CO_2$-Mengen abgeschieden wurden.

TABELLE XLIII.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. A. in Wasserstoff. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. B. in Luft. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Juli 27/28. | 9 Nachm.—8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — | — | |
| „ 28. | 8—9 | 1. | „ | 12.8 | 9.2 | |
| | 9—10 | 1. | 30.0° C. | — | — | Vorerwärmung. |
| | 10—11 | 1. | „ | 15.4 | 13.2 | |
| | 11—12 | 1. | „ | 15.8 | 14. | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 16.2 | 14.9 | |
| | 1—2 | 1. | „ | 16.4 | 14.9 | |
| | 2—3 | 1. | „ | 16.4 | 14.9 | |
| | 3—4 | 1. | „ | 16.4 | 15.4 | |
| | 4—5 | 1 | „ | 16.4 | 15.9 | |
| | 5—6 | 1. | „ | 16.4 | 16.3 | |
| | 6—7 | 1. | „ | 16.8 | 16.3 | |
| | 7—8 | 1. | „ | 16.8 | 16 8 | |

Eine Änderung im Verlauf der beiden Prozesse trat erst bei 35° C. auf. Im Gegensatz zum Konstantbleiben oder langsamen Steigen bei den Temperaturen von 0°—30° C., sehen wir hier im Anfang erst ein Steigen, worauf ein Fallen folgt. Der aerobe Prozess (B) stieg in Tabelle XLIV drei Stunden, und dann setzte das Sinken ein. In Tabelle XLV tritt nach einstündiger Steigung ein Konstantbleiben bis zur 4ten Stunde auf. Darauf folgten Schwankungen. Dasselbe ergab sich unter gleichen Bedingungen beim anaeroben Prozess. (A Tabelle XLIV und XLV).

## TABELLE XLIV.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. A. in Wasserstoff. | B. in Luft. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Aug. 5/6. | 9 Nachm.—8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — | — | |
| „ 6. | 8—9 | 1. | „ | 12.4 | 9.5 | |
| | 9—10 | 1. | 35.0° C. | — | — | Vorerwärmung. |
| | 10—11 | 1. | „ | 16.4 | 15.9 | |
| | 11—12 | 1. | „ | 17.3 | 16.8 | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 16.4 | 17.8 | |
| | 1—2 | 1. | „ | 15.4 | 16.3 | |
| | 2—3 | 1. | „ | 15.4 | 16.3 | |
| | 3—4 | 1. | „ | 15.4 | 16.3 | |
| | 4—5 | 1 | „ | 15.4 | 15.9 | |
| | 5—6 | 1. | „ | 15.4 | 15.9 | |

## TABELLE XLV.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. A. in Wasserstoff. | B. in Luft. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Aug. 7/8. | 9 Nachm.—8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — | — | |
| „ 8. | 8—9 | 1. | „ | 10.4 | 9.2 | |
| | 9—10 | 1. | 35.0° C. | — | — | Vorerwärmung. |
| | 10—11 | 1. | „ | 12.6 | 12.8 | |
| | 11—12 | 1. | „ | 13.1 | 14.2 | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 13.2 | 14.2 | |
| | 1—2 | 1. | „ | 13.4 | 14.2 | |
| | 2—3 | 1. | „ | 12.3 | 13.9 | |
| | 3—4 | 1. | „ | 12.6 | 14.4 | |
| | 4—5 | 1. | „ | 12.2 | 13.5 | |
| | 5—6 | 1. | „ | 10.9 | 13.8 | |
| | 6—7 | 1. | „ | 10.9 | 14.2 | |
| | 7—8 | 1. | „ | 10.2 | 13.4 | |
| „ 8/9. | 8 Nachm.—10 Vorm. | 14. | „ | — | — | |
| „ 8. | 10—11 | 1. | „ | 9.2 | 15.8 | Bakterienentwicklung in B. |
| | 11—12 | 1. | „ | 8.6 | 16.2 | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 8.6 | 16.6 | |
| | 1—2 | 1. | „ | 8.6 | 16.8 | |

Der Versuch in Tabelle XLV wurde am folgenden Tage fortgesetzt. Das Sinken in A. hatte noch nicht aufgehört. Dagegen war in B. ein Steigen aufgetreten, dessen Ursache in der Bakterienentwicklung gesucht werden musste. Daraus ergab sich, dass für diese Objekte eine Temperatur von 35° C bei längerer Dauer als schädlich angesehen werden muss.

Bei 40° C. ist die Atmung der Objekte in Luft im Anfang konstant. (Tabelle XLVI und XLVII).

## TABELLE XLVI.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. | | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | A. in Wasserstoff. | B. in Luft. | |
| Aug. 4/5. | 9 Nachm.—8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — | — | |
| „ 5. | 8—9 | 1. | „ | 10.8 | 9.3 | |
| | 9—10 | 1. | 40.0° C. | — | — | Vorerwärmung. |
| | 10—11 | 1. | „ | 13.5 | 15. | |
| | 11—12 | 1. | „ | 13.8 | 15. | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 12.3 | 15. | |
| | 1—2 | 1. | „ | 12.3 | 13.2 | |
| | 2—3 | 1. | „ | 12. | 13.2 | Bakterienentwicklung in B. |
| | 3—4 | 1. | „ | 12.2 | 14.4 | |
| | 4—5 | 1. | „ | 10.8 | 16.8 | |
| | 5—6 | 1. | „ | 10.8 | 17.4 | |
| | 6—7 | 1. | „ | 10.8 | 18. | |
| | 7—8 | 1. | „ | 9.6 | 19.2 | |

## TABELLE XLVII.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm. $CO_2$ ausgeschieden. A in Wasserstoff. | ccm. $CO_2$ ausgeschieden. B. in Luft. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Aug. 2/3. | 9 Nachm.-8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — | — | |
| „ 3. | 8-9 | 1. | „ | 10.8 | 9. | |
| | 9-10 | 1. | 40.0° C. | — | — | Vorerwärmung. |
| | 10-11 | 1. | „ | 16. | 17.7 | |
| | 11-12 | 1. | „ | 16. | 17.7 | |
| | 12-1 Nachm. | 1. | „ | 14.2 | 16.8 | |
| | 1-2 | 1. | „ | 14.2 | 15.4 | |
| | 2-3 | 1. | „ | 13.6 | 14.2 | |
| | 3-4 | 1. | „ | 11.2 | 14.9 | Bakterienentwicklung in B. |
| | 4-5 | 1. | „ | 11.2 | 15.9 | |
| | 5-6 | 1. | „ | 11.3 | 17. | |
| | 6-7 | 1. | „ | 11.2 | 17.7 | |
| | 7-8 | 1. | „ | 11.1 | 18.1 | |
| | 8-9 | 1. | „ | 11. | 18.7 | |

Schon in der fünften bis sechsten Stunde war die Bakterienentwicklung in B. so stark, dass der Verlauf des tatsächlichen Atmungsprozesses nicht mehr ersichtlich war.

Der anaerobe Prozess in A. bei 40° C. gab gleichfalls erst ein Konstantbleiben an. Dann folgte ein beständiges Fallen.

In Tabelle XLVIII sank bei 45° C. die Intensität des anaeroben Prozesses nach zehn Stunden von 16.8 ccm. auf 3,8 ccm. pro Stunde.

Dass diese Tätigkeit bei dieser Temperatur fast ganz aufhört, ist aus Tabelle XLIX ersichtlich, wo der Versuch 14 Stunden dauerte. Die Intensität fiel hier von 16.2 ccm. auf 0.3 ccm. pro Stunde.

Im aeroben Prozess (A) wurde jedoch das Sinken schnell aufgehoben durch die $CO_2$-Produktion der sich entwickelnden Bakterien.

# TABELLE XLVIII.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm- $CO_2$ ausgeschieden- A. in Wasserstoff. | B. in Luft. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Aug. 1/2. | 9 Nachm. 8 Vorm. | 11. | 25.0⁰C. | — | — | |
| „ 2. | 8-9 | 1. | „ | 12.4 | 10.7 | |
| | 9-10 | 1. | 45.0⁰C. | — | — | Vorerwärmung. |
| | 10-11 | 1. | „ | 16.8 | 16.8 | |
| | 11-12 | 1. | „ | 14.4 | 14. | |
| | 12-1 Nachm. | 1. | „ | 12.1 | 11.2 | |
| | 1-2 | 1. | „ | 10.2 | 10.2 | |
| | 2-3 | 1. | „ | 9.8 | 11.2 | Bakterienentwicklung in B. |
| | 3-4 | 1. | „ | 9.3 | 10.2 | |
| | 4-5 | 1 | „ | 8.4 | 10.2 | |
| | 5-6 | 1. | „ | 7. | 11.2 | |
| | 6-7 | 1. | „ | 5. | 14. | |
| | 7-8 | 1. | „ | 3.8 | 15. | |

## TABELLE XLIX.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. A. in Wasserstoff. | B. in Luft. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Aug. 9/10. | 9 Nachm.—8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — | — | |
| „ 10. | 8—9 | 1. | „ | 12.1 | 9.8 | |
| | 9—10 | 1. | 45.0° C. | — | — | Vorerwärmung. |
| | 10—11 | 1. | „ | 16.2 | 15.2 | |
| | 11—12 | 1. | „ | 13.5 | 12.3 | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 11.2 | 10.2 | |
| | 1—2 | 1. | „ | 10.2 | 9.3 | Bakterienentwicklung in B. |
| | 2—3 | 1. | „ | 8.4 | 9.3 | |
| | 3—4 | 1. | „ | 8.4 | 12.1 | |
| | 4—5 | 1. | „ | 8.4 | 13.8 | |
| | 5—6 | 1. | „ | 7.8 | 14.9 | |
| | 6—7 | 1. | „ | 3.7 | 17.7 | |
| | 7—8 | 1. | „ | 2.8 | 18.7 | |
| | 8—9 | 1. | „ | 1.8 | 22.4 | |
| | 9—10 | 1. | „ | 0.9 | 24.3 | |
| | 10—11 | 1. | „ | 0.6 | 29.9 | |
| | 11—12 | 1. | „ | 0.3 | 31.2 | |
| „ 10/11. | 12 Nachm.—8 Vorm. | 8. | „ | — | — | |
| „ 11. | 8—9 | 1. | „ | 0.3 | 78. | |
| | | | | Luft. | Wasserstoff | |
| | 9—10 | 1. | „ | 0.6 | 26.2 | Bakterienentwicklung in A. |
| | 10—11 | 1. | „ | 5.6 | 20 5 | |
| | 11—12 | 1. | „ | 16.8 | 10.4 | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 35.5 | 7.4 | |
| | 1—2 | 1. | „ | 45.8 | 5.6 | |
| | 2—3 | 1. | „ | 52.4 | 5.6 | |
| | 3—4 | 1. | „ | 58. | 5.1 | |

Bei Fortsetzung des Versuchs in Tabelle XLIX ergab sich, dass die $CO_2$-Abgabe in A im Mittel auf 0.3 ccm. stehen geblieben war (Aug. 11).

Es erhebt sich hier die Frage, ob diese geringe $CO_2$-

Menge als anaerobe Atmung angesehen werden muss, oder ob es eine postmortale $CO_2$-Abgabe ist.

In B. war jedoch die $CO_2$-Abgabe zu dem Riesenbetrag von 78 ccm. pro Stunde emporgeschnellt, was auf eine massenhafte Entwicklung der Bakterien zurückzuführen war. Nun wurde durch A. Luft, durch B. Wasserstoff geleitet. Mit grossen Sprüngen stieg in A: die $CO_2$-Abgabe, während sie in B. mit grosser Schnelligkeit sank.

Hiermit war überzeugend bewiesen, dass die in unseren Versuchen auftretenden Bakterien *streng aerob* waren und dass folglich in den anaeroben Versuchen von mitatmenden Bakterien nicht die Rede sein konnte.

Zum Isolieren und Determinieren der auftretenden Bakterien fehlte mir leider die Zeit.

In Tabelle L erkennen wir, dass bei 50° C. der anaerobe Prozess schnell auf ein Minimum kam. Sobald jedoch Luft hinzutrat, entwickelten sich die Bakterien. In B. war das Sinken der Atmung bald durch Bakterienentwicklung über-

TABELLE L.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. | | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | A. in Wasserstoff. | B. in Luft. | |
| Aug. 14/15. | 9 Nachm.—8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — | — | |
| „ 15. | 8—9 | 1. | „ | 12.1 | 10.2 | |
| | 9—10 | 1. | 50.0° C. | — | — | Vorerwärmung. |
| | 10—11 | 1. | „ | 17.7 | 16.3 | |
| | 11—12 | 1. | „ | 14. | 15.9 | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 8 4 | 16.8 | Bakterienentwicklung in B. |
| | 1—2 | 1. | „ | 6.5 | 17.7 | |
| | 2—3 | 1. | „ | 2.7 | 19.6 | |
| | 3—4 | 1. | „ | 0.9 | 26.5 | |
| | | | | Luft. | Wasserstoff. | Bakterienentwicklung in A. |
| | 4—5 | 1. | „ | 2.8 | 23. | |

deckt. Wie vorhin trat im Wasserstoffstrom auch hier ein Sinken der Bakterienatmung auf.

Das starke Sinken beider Prozesse bei 55° C. ist aus Tabelle LI zu ersehen.

## TABELLE LI.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. | | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | A. in Wasserstoff. | B. in Luft. | |
| Aug. 12/13. | 9 Nachm.—8 Vorm. | 11. | 25.0° C. | — | — | |
| „ 13. | 8—9 | 1. | „ | 10.2 | 9.8 | |
| | 9—10 | 1. | 55.0° C. | — | — | Vorerwärmung. |
| | 10—11 | 1. | „ | 9.3 | 11.2 | |
| | 11—12 | 1. | „ | 2.1 | 5.2 | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 0.9 | 3.1 | |
| | 1—2 | 1. | „ | 0.9 | 3.1 | |
| | $2-2^{30}$ | 1/2 | 50.0° C. | — | — | |
| | $2^{30}-3^{30}$ | 1. | „ | ± 0.1 | 4.6 | Bakterienentwicklung in B. |
| | $3^{30}-4^{30}$ | 1. | „ | ± 0.1 | 14. | |
| | $4^{30}-5^{30}$ | 1. | „ | ± 0.1 | 21.5 | |
| | | | | Luft. | Wasserstoff. | |
| | $5^{30}-6^{30}$ | 1. | „ | 0.6 | 22.4 | Bakterienentwicklung in A. |
| | $6^{30}-7^{30}$ | 1. | „ | 1.8 | 6.5 | |
| | $7^{30}-8^{30}$ | 1. | „ | 5.6 | 3.7 | |
| | $8^{30}-9^{30}$ | 1. | „ | 7.6 | 1.8 | |

Nachdem bei 55° C. nach vier Stunden eine Intensität von 0.9 ccm. pro Stunde erreicht worden war, zeigte der anaerobe Prozess weiter bei 50° C ein Konstantbleiben auf ein Minimum von 0.1 ccm. pro Stunde.

Hieraus konnte abgeleitet werden, dass die $CO_2$-Abgabe vollständig aufgehört hatte. Durch Luftzutritt stieg aber die $CO_2$-Produktion nach Verlauf von 4 Stunden auf 7.6 ccm. Daraus folgt, dass eine Temperatur von 55° C. nicht direkt tödlich wirkte auf unsere Bakterien. In B. fand sogleich Bakterienentwicklung statt, nachdem die Temperatur auf

50° C. zurückgebracht worden war. Die Bakterienatmung stieg in drei Stunden von 4.6 auf 21.5 ccm. In Wasserstoff gebracht, sank jedoch dieser Prozess innerhalb vier Stunden von 22.4 ccm auf 1.8 ccm,

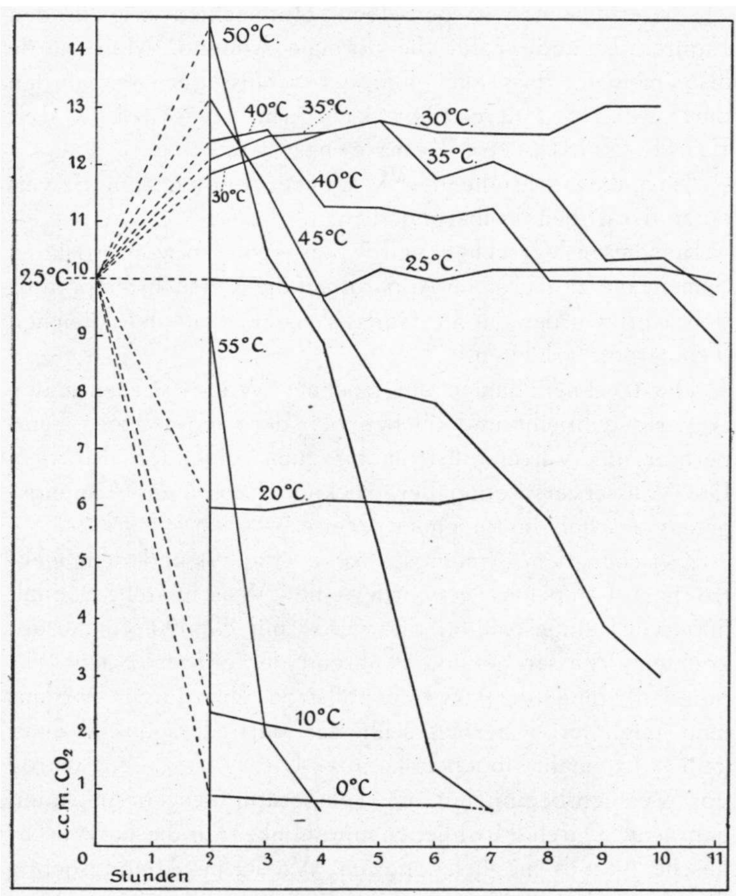



Fig. 21.

Figur 21 stellt den Verlauf des anaeroben Prozesses bei den obigen Temperaturen dar. Benutzt wurden Tabellen XXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV, XLVII,

XLVIII, L und LI. Der Anfangswert von 25° C. ist auf 10 gesetzt, wonach die anderen Werte umgerechnet sind.

Vergleichen wir den Linienverlauf für die anaerobe $CO_2$-Abgabe bei 30°, 35° und 40° C. in den Figuren 20 und 21, so erblicken wir denselben Unterschied wie in den Figuren 16 und 17 für die normale Atmung. Man würde also meinen, dass auch hier der Schluss gezogen werden darf: je älter die Objekte, um so stärker der Einfluss höherer Temperaturen.

Auch die nachstehenden Versuche konnten zum Beweis einer derartigen Folgerung dienen.

Bei diesen Versuchen wurde ausgegangen von trocknen Samen, die zunächst im Apparat auf die Versuchstemperatur gebracht wurden und dann Wasser von der gleichen Temperatur erhielten.

Die trocknen Samen auf trockner Watte wurden in den Apparat gebracht und blieben bei der angesetzten Temperatur im Wasserstoffstrom bis zum folgenden Morgen. Die Wasserversorgung der trocknen Erbsen im Atmungsgefäss geschah in folgender Weise:

Zwischen dem Atmungsgefäss a (Fig. 9) und dem elektrischen Lämpchen e wurde eine Waschflasche (Inhalt 500 ccm.) eingeschaltet. Sie wurde mit ca. 300 ccm. ausgekochtem Wasser gefüllt, Während der ganzen Nacht (11 Stunden) ging der Wasserstoffstrom hierdurch, woraus man mit aller Sicherheit schliessen darf, dass das Wasser keinen $O_2$ mehr abgeben konnte. Die Waschflasche wurde vor Versuchsbeginn auf die Temperatur des Thermostaten gebracht. Durch Hochheben und Umkehren dieser Waschflasche war es möglich langsam Wasser ins Atmungsgefäss fliessen zu lassen. So erhielten die trocken Samen im Wasserstoffstrom, ohne Luftzutritt, sauerstofffreies Wasser. Der Wasserstoff enthielt natürlich Wasserdampf. Bei *Pisum sativum* ist jedoch feuchte Luft nicht hinreichend, um den Keimungsprozess anzuregen, jedenfalls nicht die Atmung,

was aus dem Klarbleiben des Barytwassers zu ersehen war.

Bei Samen, die aber in feuchter Luft zu keimen beginnen, muss der Wasserstoff zuvor getrocknet werden, was keine unüberwindlichen Schwierigkeiten machen wird, um doch diese Wasserversorgungsmethode zu gebrauchen.

Der Vorteil des Arbeitens mit trocknen Samen in der obigen Weise ist beim Studium des Temperatureinflusses auf die Atmung sehr gross.

Bei diesen trocknen Samen, die hohe Temperaturen ungestört ertragen können und hierbei so zu sagen keine $CO_2$-Bildung aufweisen, ist natürlich eine Beschädigung des Atmungsprozesses in der Vorerwärmungsperiode, kaum zu erwarten. Der Einsatz der Atmung beginnt dann bei hohen Temperaturen, und die Gesamtkohlensäureproduktion kann aufgefangen werden. Diese Methode gestattet die Intensität, welche der Atmungsprozess bei höheren Temperaturen zeigt, in der Zeit von 0 bis zum Ende des ersten Stunde festzustellen. Dies ist nicht möglich, wenn man von gequollenen Samen oder älteren Keimlingen ausgeht, weil schon während der Vorerwärmung ein schädlicher Einfluss wirkt.

Für dergleiche Versuche sind jedoch *Pisumsamen*, wegen ihrer Grösse ziemlich unbrauchbar. Hierbei begegnet man nämlich der Schwierigkeit, dass die Samen eine längere Zeit brauchen, ehe sie mit Wasser gesättigt sind. In dem Masse, in welchem das Wasser ins Innere der Samen vordringt, wird die Zahl der Zellen, die an der Atmung teilnehmen, auch grösser. Die erste Steigung der $CO_2$-Abgabe, welche man wahrnimmt, ist also nicht die ausschliessliche Folge des Temperatureinflusses, sondern wird auch von der Grösse der atmenden Masse diktiert. Trotz dieser Beschwerde haben die Ergebnisse dieser Methode dennoch brauchbare Resultate geliefert.

Tabelle LII. gibt die Resultate mit dieser Methode bei 40° C. an.

# TABELLE LII.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|
| Aug. 19/20. | 8 Nachm.—8 Vorm. | 12. | 40.0° C. | nihil. | Trocken. |
| „ 20. | 8—9 | 1. | „ | 0.7 | Wasser von 40° C. hinzugefügt. |
| | 9—10 | 1. | „ | 3. | |
| | 10—11 | 1. | „ | 5. | |
| | 11—12 | 1. | „ | 6.8 | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 6.6 | |
| | 1—2 | 1. | „ | 6.9 | |
| | 2—3 | 1. | „ | 6.7 | |
| | 3—4 | 1. | „ | 6.7 | |
| | 4—5 | 1. | „ | 6.7 | |
| | 5—6 | 1. | „ | 6.9 | |
| | 6—7 | 1. | „ | 6.9 | |
| | 7—8 | 1. | „ | 6.9 | |
| | 8—9 | 1. | „ | 6.9 | |
| | 9—10 | 1. | „ | 7.6 | |
| „ 20/21. | 10 Nachm.—8 Vorm. | 10. | „ | 78.6 d.i. pro Std. 7.8 | |
| „ 21. | 8—9 | 1. | „ | 7.8 | |
| | 9—10 | 1. | „ | 7.8 | |
| | 10—11 | 1. | „ | 7.2 | |
| | 11—12 | 1. | „ | 7.2 | |
| | 12—1 Nachm. | 1. | „ | 7.2 | |
| | 1—2 | 1. | „ | 6.6 | |
| | 2—3 | 1. | „ | 6.6 | |
| | 3—4 | 1. | „ | 6.6 | |
| | 4—5 | 1. | „ | 6.9 | |
| | 5—6 | 1. | „ | 7.2 | |
| | 6—7 | 1. | „ | 7.2 | |
| | 7—8 | 1. | „ | 7.8 | |
| | 8—9 | 1. | „ | 7.2 | |
| „ 21/22. | 9 Nachm.—8 Vorm. | 11. | „ | 86.5 d.i. pro Std. 7.8 | |
| „ 22. | 8—9 | 1. | „ | 7.8 | |
| | 9—10 | 1. | „ | 7.8 | |
| | 10—11 | 1. | 50.0° C. | 6.6 | |
| | 11—12 | 1. | „ | 2. | |
| | 12—1 | 1. | „ | 0.1 | |

Nach vier Stunden erreichte bei dieser Temperatur die $CO_2$-Abgabe eine Intensität, die sich in den folgenden 46 Stunden nicht nennenswert änderte. Danach wurde die Temperatur auf 50° C. gebracht.

Nach drei Stunden war der Prozess abgelaufen. (Es sei hier daran erinnert, dass Bakterienatmung ausgeschlossen war).

Bedenken wir, dass eine Temperatur von 40° C. keine günstige für die Objekte ist, und dass ebenfalls die $O_2$-Abwesenheit auf die Dauer einen schädlichen Einfluss ausübt, so kann dieses Konstantbleiben nur dadurch erklärt werden, dass man annimmt, dass hier auch andere Faktoren zugegen sind, welche der schädigenden Wirkung die Wage halten oder sie sogar überwinden. *Wenn also die schädigenden Faktoren nicht zugegen wären, so würde die anaerobe $CO_2$-Abgabe bei 40° C. einen steigenden Verlauf aufweisen.*

Um zu untersuchen, in wie weit die Zunahme des Wassergehaltes die Ursache des Steigens im Versuchsbeginn war, wurde die Wasseraufnahme von *Pisumsamen* bei 40° C. festgestellt. Das Resultat gibt Tabelle LIII.

## TABELLE LIII.

Wasseraufnahme bei 40° C.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 50 Erbsen- Trockengewicht | | | | | | 22.5 | gr. |
| Gewicht | nach | einer | Stunde | der | Wasseraufnahme | 25. | „ |
| „ | „ | zwei | „ | „ | „ | 31. | „ |
| „ | „ | drei | „ | „ | „ | 34. | „ |
| „ | „ | vier | „ | „ | „ | 36.1 | „ |
| „ | „ | fünf | „ | „ | „ | 38.8 | „ |
| „ | „ | sechs | „ | „ | „ | 40. | „ |
| „ | „ | sieben | „ | „ | „ | 40.7 | „ |
| „ | „ | acht | „ | „ | „ | 41.7 | „ |
| „ | „ | neun | „ | „ | „ | 42. | „ |
| „ | „ | zehn | „ | „ | „ | 42.2 | „ |
| „ | „ | elf | „ | „ | „ | 42.2 | „ |

Hieraus ist zu ersehen, dass nach 10 Stunden die Wasseraufnahme als beendet angesehen werden kann.

In Tabelle LII dagegen erkennt man, dass schon nach vier Stunden der anaerobe Atmungsprozess ein Konstantbleiben aufweist, welches 46 Stunden wahrgenommen wurde.

Also fällt die maximale anaerobe Atmung nicht zusammen mit einer vollendeten Wasseraufnahme.

Aus Tabelle LIII ist zu ersehen, dass der Wassergehalt nach 4 Stunden ca. 70 % beträgt.

Auch die Versuche in den Tabellen LIV und LV für 45° resp. 50° C. liessen einen ganz anderen Verlauf erkennen, als solche mit älteren Keimlingen, die eine Vorperiode in Luft gehabt hatten.

# TABELLE LIV.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|
| Aug. 22/23. | 9 Nachm.— 8 Vorm. | 11. | 45.0° C. | nihil | Trocken. |
| „ 23. | 8— 9 | 1. | „ | 1. | Wasser von 45° C. hinzugefügt. |
| | 9—10 | 1. | „ | 2.4 | |
| | 10—11 | 1. | „ | 4.2 | |
| | 11—12 | 1. | „ | 5.4 | |
| | 12— 1 Nachm. | 1. | „ | 6. | |
| | 1— 2 | 1. | „ | 6.4 | |
| | 2— 3 | 1. | „ | 7.2 | |
| | 3— 4 | 1. | „ | 6.9 | |
| | 4— 5 | 1. | „ | 7.2 | |
| | 5— 6 | 1. | „ | 7.2 | |
| | 6— 7 | 1. | „ | 7.2 | |
| | 7— 8 | 1. | „ | 7.2 | |
| | 8— 9 | 1. | „ | 7.2 | |
| „ 23/24. | 9 Nachm.— 8 Vorm. | 11. | „ | 80.3 d.i. pro St. 7.3 | |
| „ 24. | 8— 9 | 1. | „ | 7.2 | |
| | 9—10 | 1. | „ | 7.6 | |
| | 10—11 | 1. | „ | 7.5 | |
| | 11—12 | 1. | „ | 7.5 | |
| | 12— 1 Nachm. | 1. | „ | 7.2 | |
| | 1— 2 | 1. | „ | 6.6 | |
| | 2— 3 | 1. | „ | 6.0 | |
| | 3— 4 | 1. | „ | 5.1 | |
| | 4— 5 | 1. | „ | 4.8 | |
| | 5— 6 | 1. | „ | 4.2 | |
| | 6— 7 | 1. | „ | 3.7 | |
| | 7 Nachm.— 8 Vorm. | 13. | „ | — | |
| „ 24/25. | 8— 9 | 1. | „ | 1.2 | |
| „ 25. | 9—10 | 1. | „ | 0.8 | |

# TABELLE LV.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|
| Aug. 25/26. | 9 Nachm.— 8 Vorm. | 11. | 50.0° C. | nihil. | Trocken. |
| „ 26. | 8— 9 | 1. | „ | 1.4 | Wasser von 50° C. hinzugefügt. |
| | 9—10 | 1. | „ | 3. | |
| | 10—11 | 1. | „ | 4.2 | |
| | 11—12 | 1. | „ | 5.4 | |
| | 12— 1 Nachm. | 1. | „ | 6. | |
| | 1— 2 | 1. | „ | 6. | |
| | 2— 3 | 1. | „ | 6. | |
| | 3— 4 | 1. | „ | 4.5 | |
| | 4— 5 | 1. | „ | 4.2 | |
| | 5— 6 | 1. | „ | 3.8 | |
| | 6— 7 | 1. | „ | 2.7 | |
| | 7— 8 | 1. | „ | 2. | |
| | 8— 9 | 1. | „ | 1. | |

Bei 45° C. stieg der Prozess bis zur siebenten Stunde, blieb danach 21 Stunden ziemlich konstant, um dann zu sinken und in der 50sten Stunde gleich 0 zu werden.

Bei 50° C. war der Verlauf noch kürzer. Nach der Steigung trat nur einige Stunden ein Konstantbleiben auf, und der Prozess erreichte nach 13 Stunden ein Minimum.

Fig. 22 ist eine graphische Darstellung der Tabellen LII, LIV und LV.

Vergleichen wir nun den Temperatureinfluss auf den Verlauf des anaeroben Prozesses bei Keimlingen verschiedenen Alters, so sehen wir z. B. bei 40° C. einen sehr grossen Unterschied.

Hat von der Wasseraufnahme an der Prozess im Wasserstoffstrom statt, so finden wir danach bei dieser

Temperatur 46 Stunden lang ein Konstantbleiben, was eigentlich ein Steigen des anaeroben Prozesses bedeutet (Fig. 22).

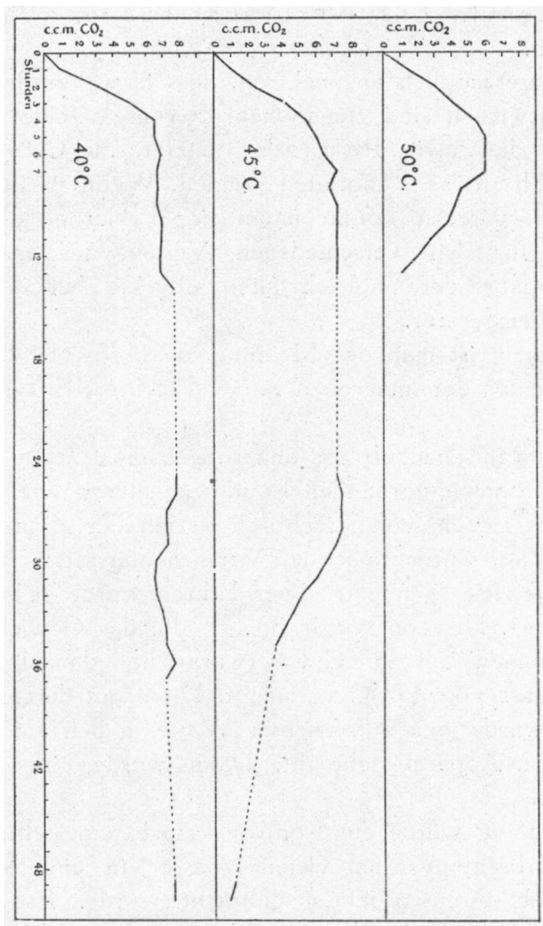



Fig. 22.

Bei Pflanzen die zuerst neun Stunden in der Luft keimten ist dieses Steigen auch noch festzustellen. (Fig. 21).

Aber bei Pflanzen mit einer Vorperiode von 60 Stunden

in Luft ist die Steigung nicht mehr zu beobachten. (Fig. 20).

Der Verlauf des anaeroben Prozesses schein also von der Länge der Vorperiode, welche die Pflanzen in Luft verbracht haben, abhängig zu sein.

Es wäre möglich anzunehmen, dass je weiter die Keimlinge entwickelt sind, um so mehr Oxydase gebildet worden ist und dass, wie Palladin[1]) meint, die Oxydasen die Carbonasen angreifen können. Wenn dies wirklich der Fall wäre, so könnte damit eine Erklärung gefunden werden für den verschiedenen Verlauf der anaeroben $CO_2$-Abgabe der ungleich alten Objekte bei derselben hohen Temperatur.

Allgemein ist man der Meinung, dass sowohl bei der normalen als der anaeroben Atmung mehrere Enzyme tätig sind.

Um nun zu sehen, ob das anaerobe Enzym schon in den trocknen Samen vorhanden ist und zugleich zu untersuchen, ob dieses Enzym völlig identisch ist mit der Zymase der Hefegärung, wurde folgender Versuch angesetzt:

Eine gewisse Menge trockner Erbsen wurde sehr fein pulverisiert. Hiervon wurde 30 gr. (d.i. das Gewicht von ca. 75 Samen) auf 45° C vorerwärmt und danach schnell mit Wasser von 45° C vermengt. Diese gut durchknetete Masse wurde nun auf feuchter Watte in den auf 45° C. erwärmten Apparat gebracht. Dann wurde eine Stunde gewartet.

Gleichzeitig wurde ein Kontrollversuch angestellt, wobei 30 gr. Erbsenpulver mit vielem Wasser in eine Waschflasche (als Atmungsgefäss) gebracht wurde. Es könnte nämlich möglich sein, dass der Gasaustritt aus dem dicken Brei erschwert würde.

In der Waschflasche wurde durch die Wasserstoffblasen

---

[1]) Palladin, l. c.

fortwährend alles durcheinander gerührt, sodass hier diese Möglichkeit nicht existierte.

Das Resultat dieses Versuchs war gegen alle Erwartungen.

TABELLE LVI.

| Datum. | Zeit. | Std. | Temp. | ccm $CO_2$ ausgeschieden. | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1. | 2. Kontrollversuch. |
| Aug. 27. | 9—10 Vorm. | 1. | 45.0° C. | — | — |
| | 10—11 | 1. | „ | 2.3 | 1.6 |
| | 11—12 | 1. | „ | 1.8 | 0.4 |
| | 12— 1 Nachm. | 1. | „ | 1.5 | 0.2 |
| | 1— 2 | 1. | „ | 0.6 | 0.2 |
| | 2— 3 | 1. | „ | 0.2 | 0.1 |

Nach einigen Stunden war so gut wie keine $CO_2$-Abgabe mehr festzustellen. (Tabelle LVI).

Hieraus ersehen wir, dass die anaerobe $CO_2$-Abgabe bei Pisum sativum entweder an der Struktur des Keimlings oder an der des Plasmas gebunden ist.

Schon Palladin[1]) wies auf die Beziehung zwischen Plasmastruktur und Atmungsprozess hin und gab für das Arbeiten mit abgetötetem Material eine Gefriermethode an, wodurch die Enzyme nicht getötet werden, wohl aber das Plasma, jedoch ohne seine Struktur zu verlieren.

Für *Pisum sativum* waren auch Godlewski und Polzeniusz[2]) zum Schluss gekommen, dass bei Zerstörung der Zellstruktur der anaerobe Prozess schnell aufhört. Zu ihren Untersuchungen wurden Erbsen benutzt, die bereits sieben Tage unter Wasser im luftleeren Raum gelegen hatten. Nachdem diese Samen in einer Porzellanreibeschale zerrieben waren und wieder mit Wasser in den Apparat

[1]) Palladin. W. Zeitschr. f. physiol. Chemie. Bd. 47. 1906. S. 407.

[2]) Godlewski und Polzeniusz, l. c.

gestellt wurden, trat eine nahezu vollständige Sistierung der $CO_2$-Abgabe auf.

Da Godlewski und Polzeniusz den anaeroben Prozess bei *Pisum sativum* vollkommen der *alkoholischen Hefegärung* gleichstellen und auch bei Pisum ein gleiches Enzym, nämlich die *Zymase* annehmen, mussten sie, da sie diese nicht anzeigen konnten, nach einer Erklärung ihres negativen Resultats suchen. Sie meinten dann auch, dass „irgendwelche Hindernisse" hier dem Nachweis der Zymase im Wege stünden und knüpften daran nog einige Vermutungen.

M. E. bestehen mehrere Möglichkeiten zur Erklärung der Ergebnisse mit den gemahlenen trocknen Erbsen:

1. Entweder ist das Enzym tatsächlich identisch mit der Zymase der Hefegärung, aber es ist in der trocknen Erbse nur in Spuren vorhanden. Es sollte dann erst bei der Wasseraufnahme durch die Tätigkeit des intakten Plasmas gebildet werden, oder

2. Die Zymase ist vorhanden, aber, wie Godlewski und Polzeniusz auch angaben, würden „durch das Zerreiben der Pflanzenmassa irgenwelche Substanzen aus gewissen Zellen freigemacht", welche wie ein Antienzym wirken, oder

3. Das Enzym, dass bei *Pisum sativum* die anaerobe $CO_2$-Entwicklung gibt, ist nicht dasselbe als die Zymase der Hefegärung.

Vergleichen wir den Temperatureinfluss auf die $O_2$-Aufnahme und $CO_2$-Abgabe bei der normalen Atmung, so sehen wir, dass beide Prozesse im gleichen Sinne beeinflusst werden.

Die Voraussetzung in der zweiten Hypothese von Kuyper, nämlich dass durch höhere Temperaturen der eine Prozess stärker beeinflusst würde als der andere, konnte, wie schon Seite 206 gesagt, nicht bestätigt werden.

Eine andere Vermutung in dieser zweiten Hypothese ist, dass vielleicht die Schwankungen dadurch zu erklären

sind, dass man mit Palladin annimmt, dass die Oxydasen die Carbonasen angreifen können.

Die von uns erhaltenen Ergebnisse weisen darauf hin, dass wahrscheinlich die Vorperiode in Luft auf die anaerobe $CO_2$-Abgabe einen Einfluss ausübt. Aber um etwas Ähnliches auch bei der aeroben Atmung anzunehmen, muss erst bewiesen werden, dass das Enzym der anaeroben $CO_2$-Abgabe ebenfalls bei der normalen Atmung vorhanden ist. Hierauf geben unsere Versuche keine Antwort.

Wenn wirklich die im normalen Atmungsverlauf auftretenden Schwankungen verursacht werden durch einen Kampf zwischen Oxydasen und Carbonasen, so bleibt noch unerklärlich:

1. dass beim Prozess der $O_2$-Aufnahme dieselben Schwankungen vorkommen und
2. dass auch die anaerobe $CO_2$-Abgabe sie ebenfalls aufweist.

### c. *Der Quotient* $\frac{I}{N}$.

Über den Quotienten $\frac{I}{N}$ ist zu bemerken, dass in allen Untersuchungen (Tabellen XXXIX bis LI) die $CO_2$-Abgabe in Luft kleiner war als in Wasserstoff. Für dieses Stadium (21 Stunden alt) wäre dieser Quotient grösser als 1, während, wie schon früher berichtet, dieser Quotient für 4 Tage alte Keimlinge kleiner als 1 sein würde. (Tabellen XXXVI, XXXVII und XXXVIII).

Schon Pfeffer [1]) hat es als wahrscheinlich hingestellt, dass das Verhältnis $\frac{I}{N}$ für verschiedene Entwicklungsstadien derselben Objekte eine Änderung erfahren würde. Stich [2]) zeigte dies für *Helianthus* und *Triticumkeimlinge*.

[1]) Pfeffer. W. Unters. aus dem bot. Inst. zu Tübingen. Bd. 1, 1885. S. 657.

[2]) Stich. C. Flora. Jahrgang 74. 1891. S. 1.

Auch Chudiakow[1]) fand für *Pisum* verschiedene Werte des Quotienten je nach dem Keimungsstadium. So berichtet er bei einer Temperatur von 20° C. für gequollene Samen, dass $\frac{I}{N}$ =0,763.

Für Keimlinge mit einer Wurzellänge von 5-15 mm. = 0,864 und
„ „ „ „ „ „ 3- 4 cm. = 0,936.

Man würde hieraus den Eindruck erhalten, als ob dieser Quotient mit dem Älterwerden der Keimlinge stiege, während aus unseren Versuchen genau das Umgekehrte hervorgeht.

Chudiakow arbeitete nach der Methode von Pfeffer (siehe Seite 161). Mit einem ähnlichen Apparat wurden später auch Atmungsversuche von Fräulein N. Junitzky [2]) genommen. Ihre Ergebnisse mit *Pisumkeimlingen* stimmen mit den unsrigen besser überein.

Bei einer Temperatur von 17°—18° C. fand sie für Keimlinge die 24 Stunden alt waren: $\frac{I}{N} = 1.28$

die zwei Tage alt waren: $\frac{I}{N} = 1,00$

„ drei „ „ „ $\frac{I}{N} = 0.92$

„ vier „ „ „ $\frac{I}{N} = 0.97$ u. s. w.,

also ein deutliches Kleinerwerden mit steigendem Alter.

Versuche über die Änderungen des Quotienten $\frac{I}{N}$ bei verschiedenen Temperaturen sind viel schwieriger zu nehmen. Man muss hierzu eigentlich dieselben Objekte gebrauchen, was bei höheren Temperaturen gar nicht möglich ist. Bei den niederen Temperaturen sollte man damit Rechnung

[1]) Chudiakow, l. c.

[2]) Junitzky. W. Revue gén. de botan. Bd. 19, 1907. S. 208.

halten, dass der Verlauf der $CO_2$-Abgabe bei normaler und anaerober Atmung sich während der Versuche unabhängig von der Temperatur ändern kann. So haben wir bei der aeroben Atmung eine grosse Periode der Atmung und normale Weiterentwicklung, während beim anaeroben Prozess das Wachstum bald eingestellt wird, und der Verlauf der $CO_2$-Abgabe wahrscheinlich von der Vorperiode in Luft abhängig ist.

Man darf also die ausgeschiedenen $CO_2$-Mengen der normalen Atmung nicht ohne weiteres mit denen der anaeroben Atmung vergleichen.

Nimmt man für die Untersuchungen jedesmal neue Objekte, so gibt eine gleiche Vorbehandlung und eine augenscheinliche Entwicklungsübereinstimmung keine Sicherheit, dass man es mit gleichartigem Material zu tun hat.

Auch eine gleichgrosse Anfangsgeschwindigkeit des Atmungsprozesses gibt keine Garantie für die Gleichwertigkeit des Materials. Das sieht man z. B. deutlich in Tabellen XLVI und XLVII. In A. (Tabelle XLVI) ist die Anfangsintensität 10.8 ccm. Nach einer Stunde bei 40° C. beträgt die $CO_2$-Abgabe 13.5 ccm. In Tabelle XLVII finden wir in A. dieselbe Anfangsintensität (10,8), nach einer Stunde aber bei 40° C. ist die ausgeschiedene $CO_2$-Menge 16 ccm.

Die Schwierigkeiten, um zwei gleichwertige Portionen des Versuchsmaterials zu wählen, macht es beinahe unmöglich, etwas Genaues über den Temperatureinfluss auf den Quotienten $\frac{I}{N}$ aussagen zu können. Deswegen werden hierüber keine Betrachtungen angestellt.

## Zusammenfassung und Schluss.

### A. Methodisches.

*1.* Zur gleichzeitigen Bestimmung des aufgenommenen $O_2$ und der ausgeschiedenen $CO_2$ bei der Atmung wurde ein Apparat konstruiert unter Benutzung eines geschlossenen Systems mit Zirkulation der eingesperrten Luft.

*2.* Für die Messung des aufgenommenen $O_2$ wurde eine neue Methode ausgearbeitet, welche die folgenden Vorteile und Vereinfachung darbietet:

a. das Auftreten von Druck- und Sauerstoffgehaltsverminderung im Apparat wird auf ein Minimum reduziert,

b. an Stelle des verbrauchten $O_2$ tritt sofort, ohne erst ein Sperrventil zu passieren, reiner $O_2$, was zu kontrollieren ist,

c. eine Sauerstoffbombe oder ein anderes Reservoir braucht man nicht mehr.

*3.* Es stellte sich heraus, dass im Atmungsgefäss für eine ausreichende Ventilation gesorgt werden muss.

*4.* Die volumetrische Bestimmung des ausgeschiedenen $CO_2$ ergab sich als weniger geeignet für das Studium der anaeroben Atmung, weil mit dieser Methode unkontrollierbare Fehler gemacht werden können.

*5.* Bei den anaeroben Versuchen wurde deswegen mit einem Apparat nach dem Pfefferschen System gearbeitet. In mancher Hinsicht musste aber von der Pfefferschen Methode abgewichen werden.

Ein konstanter Gasstrom durch den Apparat war leicht zu erreichen mittels einer einfachen Vorrichtung, die an den Hahn der Wasserleitung angebracht wurde.

Im Atmungsgefäss war durch Ventilation jede $CO_2$-Anhäufung ausgeschlossen. Unten am Kippschen Apparat wurde ein Glashahn angebracht, wodurch die Salzsäure zu erneuern war, ohne dass Luft zutrat.

*6.* Bei den anaeroben Versuchen im Wasserstoffstrom konnte genau gezeigt werden, dass dieses Gas physiologisch $O_2$-frei war.

*7.* Der durch Elektrolyse einer NaOH-Lösung erhaltene Wasserstoff war nicht $O_2$-frei.

*8.* Auch musste vom Benutzen einer Stickstoffbombe abgesehen werden, da dieses Gas aus den käuflichen Bomben nicht schnell genug $O_2$-frei gemacht werden konnte.

*9.* Ein schädlicher Einfluss des Wasserstoffes konnte nicht nachgewiesen werden.

*10.* Es zeigte sich, dass ein Quellen der Samen in Wasser während vierundzwanzig Stunden, für *Pisum sativum* nicht zu empfehlen ist. Die Quellungsperiode wurde daher auf höchstens 12 Stunden festgesetzt.

*11.* Die Keimlinge kamen abends in den Apparat. Dieser wirkte dann bei einer nicht schädlichen Temperatur ventilierend bis zum folgenden Morgen. Die Objekte unterlagen also längere Zeit dem Einfluss der ganz neuen Umstände. Diese Methode gibt obendrein ein grosses Zeitersparnis.

*12.* Statt Wasserbehälter ins Atmungsgefäss zu stellen, wurden die Samen oder Keimlinge auf feuchte Watte gelegt. Hierdurch waren für die Wasserversorgung der Objekte bessere Bedingungen gegeben.

*13.* Das Sterilisieren der Samen mit einer 1 ‰ Sublimatlösung wirkte längere Zeit schädlich auf die Atmung.

*14.* Der Fehler, den man macht, wenn das Material nicht frei von Bakterien ist, konnte, was die $CO_2$-Abgabe anbetrifft, einigermassen geschätzt werden.

**B. Experimentelles.**

*a. Normale Atmung.*

*1.* Während der Keimung von *Pisum sativum* zeigte die Atmung bei 20° und 25° C. ein Steigen bis zu einem Maximum. Danach traten Schwankungen auf, und die Atmungsintensität verminderte sich allmählich. Die $CO_2$-Abgabe und $O_2$-Aufnahme zeigen also während des Keimens beide eine Neigung zum Steigen. Diese Tendenz kann man in Anschluss an A. Mayer, „grosse Periode der Atmung" nennen.

*2.* Der Rückgang des Atmungsprozesses nach dem Erreichen eines Maximums rührt vielleicht vom längeren Verbleiben im Atmungsgefäss her. Es wäre zu untersuchen, ob nicht Mangel an Mineralnährsalzen hierbei eine Rolle spielt. Wenn man also bei der Keimung von einer „grossen Periode der Atmung" reden will, so ist es vorläufig besser darunter nur das Steigen bis zu einem Maximum zu verstehen.

*3.* Bei 25° C. war das Maximum der grossen Periode schon am dritten Tage erreicht, während bei 20° C. dies erst am vierten Tage der Fall war. Die Atmungsintensität bei 25° C. war in den ersten fünf Tagen eine grössere als bei 20° C.

Je höher also die Temperatur, umso grösser ist die Atmungsintensität und desto früher ist das Maximum der grossen Periode erreicht.

*4.* Während der Wasseraufnahme war die $CO_2$-Abgabe grösser als die $O_2$-Aufnahme. Der Quotient $\frac{CO_2}{O_2}$ ist daher beim Anfang der Keimung grösser als 1. Bei der weiteren Entwicklung sank der Wert des Quotienten $\frac{CO_2}{O_2}$ allmählich, blieb aber fortwährend etwas grösser als 1.

Entweder müssen die zu veratmenden Stoffe erst gespalten werden ehe der oxydierende Prozess eintreten kann, oder die Fähigkeit zur $O_2$-Aufnahme bildet sich erst mit der Wasseraufnahme.

*5.* Nach vollendeter Wasseraufnahme zeigten die Prozesse der $O_2$-Aufnahme und $CO_2$-Produktion bei 20° und 25° C. einen fast parallelen Verlauf. Nach dem Erreichen des Maximums traten in beiden Prozessen Schwankungen auf.

*6.* Bei den höheren Temperaturen konnte festgestellt werden, dass bis 45° C. die Prozesse der $O_2$-Aufnahme und $CO_2$-Abgabe im gleichen Sinne von der Temperatur beeinflusst wurden. Erst bei 50° und 55° C. waren Abweichungen zu bemerken.

*7.* Die Schwankungen in der $CO_2$-Abgabe können also nicht erklärt werden mit der zweiten Hypothese Kuypers, wobei vermutet wird, dass die Prozesse der $O_2$-Aufnahme und $CO_2$-Ausscheidung ungleich von der Temperatur beeinflusst werden.

*8.* Die Ergebnisse Kuypers über den Temperatureinfluss auf die $CO_2$-Ausscheidung bei vier Tage alten Keimlingen von *Pisum sativum* konnten in unseren Versuchen bestätigt werden.

*9.* Kuyper meint, dass bei *Pisum sativum* schon bei 25° C. ein schädlicher Einfluss der Temperatur auftritt. Dieser konnte in unsern Versuchen nicht festgestellt werden.

Sowohl bei 20° als bei 25° C. entwickelten die Samen sich ganz normal und bei beiden Temperaturen ergaben sich nach dem Maximum der grossen Periode Schwankungen im Atmungsverlauf.

*10.* Es ist sehr schwierig diese Schwankungen zu erklären mit der ersten Hypothese Kuypers, wobei vorausgesetzt wurde, dass dieselben bei 25° C. durch verstärktes Wachstum einerseits und Schädigung durch die hohe Temperatur

andererseits, verursacht wurden. Denn in unsern Versuchen traten diese Schwankungen schon bei 20° C. auf, einer Temperatur, welche man für Pisum sativum keine schädliche nennen kann.

*11.* Noch mehr sprechen die Ergebnisse bei höheren Temperaturen gegen diese Hypothese. So ergaben bei 30° C. 21 Stunden alte Keimlinge einen steigenden Atmungsverlauf. Bei vier Tage alten Objekten dagegen zeigte bei derselben Temperatur die Atmung ein Fallen mit Schwankungen. In beiden Fällen war das Wachstum ein starkes.

Man musste also annehmen, dass im ersten Falle die Temperatur günstig wirkte, im zweiten aber schädlich. Diese Annahme ist selbstverständlich ganz willkürlich. Vielmehr liegt es auf der Hand diesen Unterschied im Atmungsverlauf bei einer gleichhohen Temperatur in Beziehung mit dem Faktor "grosse Periode" zu bringen. Je jünger die Objekte, desto stärker tritt der Einfluss dieser steigenden Tendenz hervor. Sie kann einer schädlichen Wirkung die Wage halten, oder diese sogar während längerer Zeit überwinden.

Die folgende Übersicht gibt einen Vergleich des Atmungsverlaufs bei Temperaturen von 0°—55° C. für Keimlinge in verschiedenen Stadien der „grossen Periode der Atmung":

| Temp. | Keimlinge 4 Tage alt. | Keimlinge 21 St. alt. | Keimlinge 4—5 St. alt. |
|---|---|---|---|
| 0.° C. | konstant | konstant | — |
| 10.° „ | konstant | konstant | — |
| 20.° „ | schwankend | steigend | — |
| 25.° „ | schwankend | steigend | — |
| 30.° „ | schwankend | steigend | — |
| 35.° „ | Schwankend u. Sinkend | steigend danach sinkend | — |
| 40.° „ | langsam sinkend | erst konstant, dann sinkend | langsam sinkend |
| 45.° „ | schnell sinkend | schnell sinkend | — |
| 50.° „ | schnell sinkend | schnell sinkend | langsam sinkend |
| 55.° „ | schnell sinkend | schnell sinkend | — |

*12.* Man muss also bei allen Atmungsversuchen mit keimenden Samen erst feststellen, in welcher Phase der „grossen Periode" die Keimlinge sich befinden.

*13.* Das Vernachlässigen des Faktors „grosse Periode" kann beim Studium der Keimungsatmung zu falschen Folgerungen führen.

So können die Versuche Kuypers mit Arachiskeimpflanzen nicht ohne weiteres gebraucht werden, um zu beweisen, dass diese Pflanze infolge ihrer tropischen Natur einer höheren Temperatur angepasst ist wie das nicht tropische *Pisum sativum*.

*14.* Auch die Versuche von Fräulein van Amstel mit Triticumkeimlingen haben einen beschränkten Wert, weil vom gebrauchten Material nicht festgestellt wurde, wie hier die grosse Periode der Atmung verläuft.

15. Erst bei hohen Temperaturen zeigte sich eine ungestörte Entwicklung der sich auf den Objekten befindenden Bakterien. Der Eintritt der Bakterienvorherrschaft bedeutet ein zu Grunde gehen der Keimlinge.

16. Von den in unseren Versuchen auftretenden Bakterien konnte nachgewiesen werden, dass sie streng aerob waren.

Die Atmung dieser Bakterien war bei 50° C. noch in optimalen Bedingungen, während eine Temperatur von 55° C. schädlich wirkte.

17. Ohne eine strenge Analyse des Atmungsprozesses ist die Blackmansche Theorie experimentell nicht zu beweisen.

Für die Erklärung der Enzymtätigkeit im Organismus ist die Hypothese Blackmans zu einfach aufgestellt.

*18.* In der Phase der grossen Periode der Atmung darf man auch bei nicht schädlichen Temperaturen den Zeitfaktor nicht vernachlässigen. $Q_{10}$ ist für dieses Keimungsstadium nicht ohne weiteres aus den gefundenen Werten der Atmungsintensität zu berechnen.

**B. Anaerobe Atmung.**

1. Nach einem viertägigen Verweilen im Wasserstoffstrom bei einer Temperatur van 25° C. besassen die gequollenen Samen von *Pisum sativum* noch die Fähigkeit, sich später in Luft normal weiter zu entwickeln.

2. Im Wasserstoffstrom trat keine vollständige Keimung auf. Zwar brachen die Würzelchen nach der Wasseraufnahme durch die Samenhaut, aber von einem bestimmten Punkte an wurde das Wachstum völlig eingestellt.

3. Dass bei $O_2$-Abwesenheit das Wachstum nicht lange mehr fortdauert liegt wohl hauptsächlich im Mangel an der dazu erforderlichen Energie.

Der anaerobeAtmungsprozess entwickelt bei *Pisum sativum* ca. $\frac{1}{10}$ der Energie, welche bei der normalen Atmung freikommt.

4. Die Länge der Vorperiode, welche die Keimlinge in Luft verbracht haben, beeinflusst den Verlauf des anaeroben Prozesses.

Die folgende Übersicht zeigt dies deutlich:

| Temp. | Keimlinge, die 60 Stunden in Luft keimten. | Keimlinge, die 9 St. in Wasser zur Quellung gelegen hatten. | Keimlinge, die von der Wasseraufnahme an im Wasserstoffstrom waren. |
|---|---|---|---|
| 0.° C. | — | konstant | — |
| 10.° „ | — | konstant | — |
| 20.° „ | — | konstant | — |
| 25.° „ | — | konstant | — |
| 30.° „ | schwankend u. sinkend | steigend | — |
| 35.° „ | schwankend u. sinkend | steigend u. dann sinkend | — |
| 40.° „ | sinkend | konstant u. dann sinkend | konstant während mehr als 46 St. |
| 45.° „ | — | schnell sinkend | konstant während 21 St. |
| 50.° „ | — | schnell sinkend | konstant während 3 St. |
| 55.° „ | — | schnell sinkend | — |

5. Das Konstantbleiben des anaeroben Prozesses bei Temperaturen von 40°, 45°, und 50° C., während längerer oder kürzerer Zeiten weist darauf hin, dass der Prozess hier eigentlich ein steigender ist. Infolge der schädlichen hohen Temperatur und der $O_2$-Abwesenheit musste die $CO_2$-Abgabe vom Anfang an sinken. Das Konstantbleiben wird also durch einen dritten Faktor hervorgerufen, welcher die anaerobe $CO_2$-Produktion steigert. Und dieser Faktor ist wahrscheinlich gebunden an der Länge der Vorperiode, welche die Keimlinge in Luft verbrachten.

Bei allen anaeroben Versuchen mit *Pisum sativum* muss hierauf Rücksicht genommen werden.

6. Wenn die Samen keine Vorperiode in Luft haben (wenn man also von trocknen Samen ausgeht), so ist selbstverständlich die Steigung in den ersten Stunden auch eine Folge der Wasseraufnahme. Bei 40° C. konnte festgestellt werden, dass die Wasseraufnahme nach 10 Stunden beendet ist. In den Atmungsversuchen zeigte sich aber, dass der anaerobe Prozess bei 40°, 45° und 50° C. schon nach der vierten oder fünften Stunde einen maximalen Wert erreicht hatte. Die Wasseraufnahme hatte also nach der fünften Stunde auf den Verlauf der $CO_2$-Abgabe keinen weiteren Einfluss gehabt. Hieraus konnte berechnet werden, dass es für ein vollständiges Auftreten des anaeroben Prozesses schon genügt, wenn die Samen 70% der maximalen Wassermenge aufgenommen haben.

7. In seiner zweiten Hypothese weist Kuyper darauf hin, dass vielleicht die Schwankungen im Verlauf der normalen Atmung erklärt werden können, durch die Annahme Palladins, dass die Oxydasen die Carbonasen angreifen können,

In unseren Versuchen zeigte sich, dass bei der anaeroben $CO_2$-Abgabe eine derartige Relation möglich ist. Dass etwas Ähnliches auch bei der aeroben Atmung der

Fall sein muss, geht hieraus nicht hervor, es sei denn, dass man zeigen könnte, dass derselbe Prozess der anaeroben $CO_2$-Abgabe auch bei der aeroben Atmung vorhanden ist. Und wenn dies der Fall wäre, und die Schwankungen der aeroben $CO_2$-Ausscheidung wirklich dadurch verursacht würden, so bliebe noch unerklärt, dass 1. die $O_2$-Aufnahme dieselben Schwankungen zeigt und 2. die anaerobe Atmung sie ebenfalls aufweist.

*8.* Die anaerobe $CO_2$-Abgabe ist entweder an der Struktur des Keimlings oder an der des Plasmas gebunden. Sobald man diese Struktur zerstört, hört die anaerobe $CO_2$-Bildung auf.

*9.* Während bei der aeroben Atmung eine grosse Periode der Atmung und normale Weiterentwicklung auftreten, wird beim anaeroben Prozess das Wachstum bald eingestellt, und ist der Verlauf der $CO_2$-Abgabe von der Vorperiode in Luft abhängig. Bei der Bestimmung des Quotienten $\frac{I}{N}$ darf man also die ausgeschiedenen $CO_2$-Mengen der anaeroben Atmung nicht ohne weiteres durch die der normalen Atmung dividieren.

Diese Arbeit wurde angefertigt im botanischen Laboratorium der Reichsuniversität Utrecht.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. F. A. F. C. Went, auch an dieser Stelle den geziemenden Dank aus zu sprechen, nicht nur für die Anregung zu dieser Arbeit, sondern auch für seine dauernde und wohlwollende Kritik.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich auch Herrn Dr. V. J. Koningsberger, Assistenten am hiesigen Institut, für seine Unterstützung aufrichtig danken.

## INHALTSVERZEICHNIS.